

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-105203

(43)Date of publication of application : 11.04.2000

(51)Int.Cl. G01N 21/956  
G01B 11/30  
H01L 21/66

(21)Application number : 11-206078

(71)Applicant : HITACHI LTD  
HITACHI ELECTRONICS ENG CO  
LTD

(22)Date of filing : 21.07.1999

(72)Inventor : NOGUCHI MINORU  
OSHIMA YOSHIMASA  
NISHIYAMA HIDETOSHI  
MATSUMOTO SHUNICHI  
KENBO YUKIO  
MATSUNAGA RYOJI  
SAKAI SHIGETOSHI  
NINOMIYA TAKANORI  
WATANABE TETSUYA  
NAKAMURA HISATO  
JINGU TAKAHIRO  
MORISHIGE YOSHIO  
CHIKAMATSU SHUICHI

(30)Priority

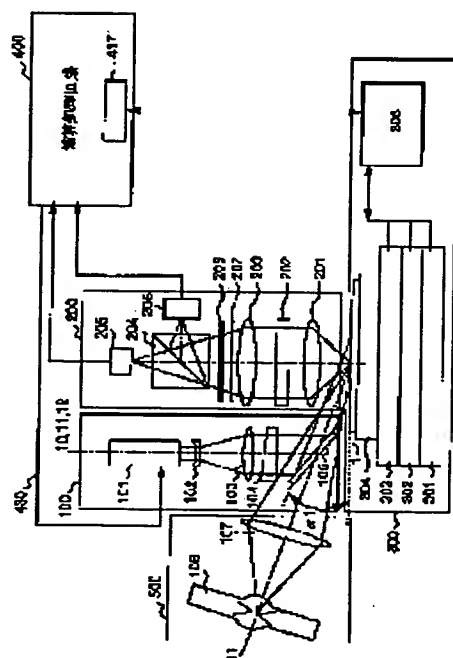
Priority number : 10213056 Priority date : 28.07.1998 Priority country : JP

## (54) DEFECT INSPECTING DEVICE AND METHOD

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To quickly and precisely inspect a defect such as a very small contaminant by calculating dispersion based on signals in a portion with the same circuit patterns formed or in its vicinity, and by extracting a signal indicating the defect such as the very small contaminant out of detected signals based on a threshold set on the basis of a result calculated hereinbefore.

**SOLUTION:** An illumination optical system 100 having a laser beam 101, lenses 102-104, a beam splitter and the like has a predcribed inclination with respect to a main straight line group of a circuit pattern, and an inspected objective substrate 1 is irradiated substantially orthogonally to a traveling direction of a substrate mounting table 304 for mounting the objective substrate 1. An inspecting optical system 200 detects reflected scattered light provided by a defect such as a contaminant existing on the substrate 1, using image



sensors 205, 206 through lenses 201, 203 and a beam splitter 204, to feed signals to a processing circuit 400. A threshold as a determination reference is set in a defect determining process in the circuit 400 based on a dispersion of the resulting signals, and the signal indicating the defect such as the contaminant is extracted, based on the set threshold.

---

#### LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 09.10.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

1 / 1

<a href="#">MENU</a>	<a href="#">SEARCH</a>	<a href="#">INDEX</a>	<a href="#">DETAIL</a>	<a href="#">JAPANESE</a>
----------------------	------------------------	-----------------------	------------------------	--------------------------

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-105203

(P2000-105203A)

(43) 公開日 平成12年4月11日 (2000.4.11)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード (参考)
G 0 1 N 21/956		G 0 1 N 21/956	B
G 0 1 B 11/30		G 0 1 B 11/30	A
H 0 1 L 21/66		H 0 1 L 21/66	J

審査請求 未請求 請求項の数40 O L (全 41 頁)

(21) 出願番号	特願平11-206078	(71) 出願人	000005108 株式会社日立製作所 東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地
(22) 出願日	平成11年7月21日 (1999.7.21)	(71) 出願人	000233480 日立電子エンジニアリング株式会社 東京都渋谷区東3丁目16番3号
(31) 優先権主張番号	特願平10-213056	(72) 発明者	野口 稔 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立製作所生産技術研究所内
(32) 優先日	平成10年7月28日 (1998.7.28)	(74) 代理人	100068504 弁理士 小川 勝男 (外1名)
(33) 優先権主張国	日本 (J P)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 欠陥検査装置およびその方法

## (57) 【要約】

【課題】基板上にパターンを形成し対象物を製作して行く製造工程で発生する異物等の欠陥を検出する際に、パターンからの回折光を低減するために回折光が入らない方向から直線上の高効率照明を実現し、パターンによる信号のばらつきに応じてしきい値を設定することにより、検出感度およびスループットを向上する欠陥検査装置およびその方法を提供することにある。

【解決手段】本発明では、パターンからの散乱光を低減する方向から照明する高効率照明光学系により、信号のばらつきの原因であるパターンからの散乱光を低減し、さらに、チップ内の領域毎に算出した信号のばらつきをもとにしきい値を設定する手段により、検出しきい値を低減し、検出感度の向上およびスループットの向上を実現する。

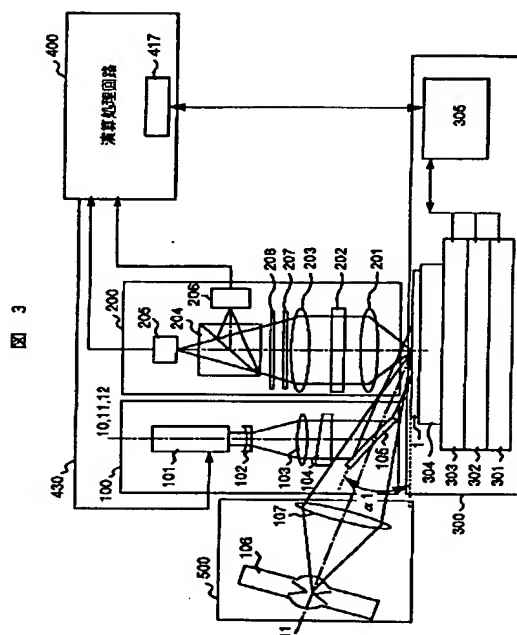


図 3

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】長手方向にはほぼ平行光からなるスリット状ビームを、回路パターンが形成された被検査対象基板に対して、該基板の法線方向から所定の傾きを有し、前記回路パターンの主要な直線群に対して平面上所定の傾きを有し、長手方向が前記被検査対象基板を載置して走行させるステージの走行方向に対してほぼ直角になるように照明する照明過程と、

該照明過程で照明された被検査対象基板上に存在する異物等の欠陥から得られる反射散乱光をイメージセンサで受光して信号に変換して検出する検出過程と、

該検出過程で検出された信号に基いて異物等の欠陥を示す信号を抽出する欠陥判定過程とを有することを特徴とする欠陥検査方法。

【請求項 2】前記検出過程において、被検査対象基板上に存在する回路パターンの少なくとも繰り返しパターンからの回折光パターンを空間フィルタによって遮光することを特徴とする請求項 1 記載の欠陥検査方法。

【請求項 3】前記欠陥判定過程において、本来同一の回路パターンが形成された箇所またはその近傍から前記検出によって得られる信号に基にしてばらつきを算出し、該算出されたばらつきに基づいて設定される判定基準を基に前記検出された信号から異物等の欠陥を示す信号を抽出することを特徴とする請求項 1 または 2 記載の欠陥検査方法。

【請求項 4】前記欠陥判定過程において、前記検出された信号に対して前記回路パターンを構成する各種領域毎に設定された判定基準に基いて異物等の欠陥を示す信号を抽出することを特徴とする請求項 1 または 2 記載の欠陥検査方法。

【請求項 5】前記照明過程において、スリット状ビームの回路パターンの主要な直線群に対する平面上の傾きが 45 度程度であることを特徴とする請求項 1 または 2 または 3 または 4 記載の欠陥検査方法。

【請求項 6】回路パターンが形成された被検査対象基板を載置して走行させるステージと、

光源から出射されるビームを、長手方向にはほぼ平行光からなるスリット状ビームにして、前記被検査対象基板に対して、該基板の法線方向から所定の傾きを有し、前記回路パターンの主要な直線群に対して平面上所定の傾きを有し、長手方向が前記ステージの走行方向に対してほぼ直角になるように照明する照明光学系と、

該照明光学系によってスリット状ビームが照明された被検査対象基板上に存在する異物等の欠陥から得られる反射散乱光をイメージセンサで受光して信号に変換して検出する検出光学系と、

該検出光学系のイメージセンサから検出された信号に基いて異物等の欠陥を示す信号を抽出する画像処理部とを備えたことを特徴とする欠陥検査装置。

【請求項 7】前記画像処理部において、本来同一の回路

パターンが形成された箇所またはその近傍から前記検出光学系のイメージセンサから検出によって得られる信号に基にしてばらつきを算出し、該算出されたばらつきに基づいて判定基準を設定する判定基準設定手段と該判定基準設定手段で設定された判定基準を基に前記検出光学系のイメージセンサから検出された信号から異物等の欠陥を示す信号を抽出する抽出手段とを有することを特徴とする請求項 6 記載の欠陥検査装置。

【請求項 8】前記画像処理部において、前記検出された信号に対して前記回路パターンを構成する各種領域毎に設定された判定基準に基いて異物等の欠陥を示す信号を抽出する手段を有することを特徴とする請求項 6 記載の欠陥検査装置。

【請求項 9】前記検出光学系において、光軸が、被検査対象基板に対してほぼ垂直であることを特徴とする請求項 6 記載の欠陥検査装置。

【請求項 10】前記照明光学系において、光源がレーザ光源であることを特徴とする請求項 6 または 7 または 8 または 9 記載の欠陥検査装置。

【請求項 11】前記照明光学系において、円錐表面に近似する形状の絞る光学要素を有することを特徴とする請求項 6 または 7 または 8 または 9 または 10 記載の欠陥検査装置。

【請求項 12】前記照明光学系において、更に、白色光を法線に対して傾けた方向から照明する光学系を備えたことを特徴とする請求項 6 または 7 または 8 または 9 または 10 または 11 記載の欠陥検査装置。

【請求項 13】前記検出光学系において、空間フィルタを備えたことを特徴とする請求項 6 または 7 または 8 または 9 または 10 または 11 または 12 記載の欠陥検査装置。

【請求項 14】前記検出光学系におけるイメージセンサを TDI センサで構成することを特徴とする請求項 6 または 7 または 8 または 9 または 10 または 11 または 12 または 13 記載の欠陥検査装置。

【請求項 15】前記検出光学系において、光軸を被検査対象基板の法線に対して傾けたことを特徴とする請求項 6 または 7 または 8 または 9 または 10 または 11 または 13 または 14 記載の欠陥検査装置。

【請求項 16】被検査対象物の表面に対して法線方向からある傾きを持って光を照明し、被検査対象物の表面内の少なくとも一方向に照明光束を絞るための円錐表面に近似した形状の光学要素を有する照明光学系と、前記被検査対象物から反射する光をイメージセンサで受光して信号に変換して検出する検出光学系と、該検出光学系で検出された信号を処理する画像処理部とを備えたことを特徴とする欠陥検査装置。

【請求項 17】被検査対象物の表面に対して光を照明する照明光学系と、生み出された電荷を蓄積する手段と蓄積した電荷がある

一定量を越えた際に該一定量を超えた電荷を流し出す電流経路と該一定量までの範囲の蓄積された電荷を読み出す手段とで構成されるイメージセンサを有し、前記被検査対象物から反射する光を、前記イメージセンサで受光して信号に変換して検出する検出光学系と、該検出光学系で検出された信号を処理する画像処理部とを備えたことを特徴とする欠陥検査装置。

【請求項 18】前記検出光学系において、被検査対象物からの反射光束を分岐し、該分岐される一つの反射光束の強度を他の一つの反射光束の強度の概ね  $1/100$  にする分岐光学系と、該分岐光学系で分岐された各反射光束の受光する複数のイメージセンサとを有することを特徴とする請求項 16 または 17 記載の欠陥検査装置。

【請求項 19】被検査対象物の表面に対して光を照明する照明光学系と、

前記被検査対象物の表面に形成されたパターンからの散乱光を遮光するようにほぼ平行に設置された線状の複数の遮光手段を有し、光軸が前記被検査対象物の表面の法線方向からある一定角度の傾きを有し、前記被検査対象物から反射する光を光電変換手段で受光して信号に変換して検出する検出光学系と、

該検出光学系で検出された信号を処理する画像処理部とを備えたことを特徴とする欠陥検査装置。

【請求項 20】複数のほぼ同一形状の構造物が配列された被検査対象物の表面に対して光を照明する照明光学系と、

被検査対象物からの反射光をイメージセンサで受光して画像信号に変換して検出する検出光学系と、

該検出光学系から検出された画像信号を基に同一形状の構造物の対応する対応画素またはその近傍の画素について画像信号のばらつきを算出し、該算出されたばらつきに応じて異物等の欠陥の存在を判定する画素の信号レベルの判定基準を設定する判定基準設定手段と該判定基準設定手段で設定された判定基準を基に前記検出光学系から検出された画像信号に対して欠陥の存在を判定する判定手段とを有し、前記画像信号を処理する画像処理部とを備えたことを特徴とする欠陥検査装置。

【請求項 21】前記画像処理部には、前記画像信号のばらつきに対する前記判定基準の倍率を設定する設定手段を有することを特徴とする請求項 20 記載の欠陥検査装置。

【請求項 22】複数のほぼ同一形状の構造物が配列された被検査対象物の表面に対して光を照明する照明光学系と、

被検査対象物からの反射光をイメージセンサで受光して画像信号に変換して検出する検出光学系と、

該検出光学系から検出された画像信号を基に同一形状の構造物の対応する画素についての画像信号の差分値を算出する差分値算出手段と異物等の欠陥の存在を判定する画素に近隣する複数の画素における前記差分値算出手段

で算出された差分値のばらつきを算出し、該算出されたばらつきに応じて異物等の欠陥の存在を判定する画素の信号レベルの判定基準を設定する判定基準設定手段と該判定基準設定手段で設定された判定基準を基に前記検出光学系から検出された画像信号に対して欠陥の存在を判定する判定手段とを有し、前記画像信号を処理する画像処理部とを備えたことを特徴とする欠陥検査装置。

【請求項 23】前記画像処理部には、前記判定手段で判定された欠陥の検査結果と前記判定基準設定手段で設定された判定基準に対応するデータとを出力する出力手段を有することを特徴とする請求項 20 または 21 または 22 記載の欠陥検査装置。

【請求項 24】複数のほぼ同一形状の構造物が配列された被検査対象物の表面に対して光を照明する照明光学系と、

被検査対象物からの反射光をイメージセンサで受光して画像信号に変換して検出する検出光学系と、

該検出光学系から検出された画像信号に対して判定基準を基に欠陥の存在を判定する判定手段と該判定手段において判定される判定基準についての同一形状の構造物に対するマップ情報もしくは画像を表示する表示手段とを有する画像処理部とを備えたことを特徴とする欠陥検査装置。

【請求項 25】前記画像処理部には、エリア優先モード、標準モード、および感度優先モードに応じて前記判定基準を設定可能な手段を有することを特徴とする請求項 24 記載の欠陥検査装置。

【請求項 26】複数のほぼ同一形状の構造物が配列された被検査対象物の表面に対して光を照明する照明光学系と、

被検査対象物からの反射光をイメージセンサで受光して画像信号に変換して検出する検出光学系と、

該検出光学系から検出された画像信号に対して判定基準を基に欠陥の存在を判定する判定手段と該判定手段において判定される判定基準とそれに対応する検査面積に関する指標との関係を表示する表示手段とを有する画像処理部とを備えたことを特徴とする欠陥検査装置。

【請求項 27】複数のほぼ同一形状の構造物が配列された被検査対象物の表面に対して光を照明する照明光学系と、

被検査対象物からの反射光をイメージセンサで受光して画像信号に変換して検出する検出光学系と、

該検出光学系から検出された画像信号に対して判定基準を基に欠陥の存在を判定する判定手段と該判定手段において判定される判定基準に対応した同一形状の構造物に対する感度情報を表示する表示手段とを有する画像処理部とを備えたことを特徴とする欠陥検査装置。

【請求項 28】複数のほぼ同一形状の構造物が配列された被検査対象物の表面に対して光を照明する照明光学系と、

被検査対象物からの反射光をイメージセンサで受光して画像信号に変換して検出する検出光学系と、判定基準を、前記同一形状の構造物における下地の状態に対応させて変えて設定する判定基準設定手段と該判定基準設定手段によって設定された判定基準を基に、前記検出光学系から検出された画像信号に対して欠陥の存在を判定する判定手段とを有し、前記画像信号に対して処理する画像処理部とを備えたことを特徴とする欠陥検査装置。

【請求項 29】複数のほぼ同一形状の構造物が配列された被検査対象物の表面に対して光を照明する照明光学系と、被検査対象物からの反射光をイメージセンサで受光して画像信号に変換して検出する検出光学系と、欠陥のサイズを指定する指定手段と該指定手段によって指定された欠陥のサイズに応じて判定基準を設定する判定基準設定手段と該判定基準設定手段によって設定された判定基準を基に、前記検出光学系から検出された画像信号に対して欠陥の存在を判定する判定手段とを有し、前記画像信号に対して処理する画像処理部とを備えたことを特徴とする欠陥検査装置。

【請求項 30】複数のほぼ同一形状の構造物が配列された被検査対象物の表面に対して光を照明する照明光学系と、被検査対象物からの反射光をイメージセンサで受光して画像信号に変換して検出する検出光学系と、欠陥のサイズを指定する指定手段と該指定手段された欠陥のサイズに応じて前記照明光学系で照明される照明光のパワーを制御する制御系とを有し、前記検出光学系から検出される画像信号に対して処理する画像処理部とを備えたことを特徴とする欠陥検査装置。

【請求項 31】ステージ上に載置され、複数のほぼ同一形状の構造物が配列された被検査対象物の表面に対して光を照明する照明光学系と前記被検査対象物からの反射光をイメージセンサで受光して画像信号に変換して検出する検出光学系とを有する撮像光学系と、該撮像光学系の検出光学系から検出された画像信号に対して判定基準を基に欠陥の存在を判定する判定手段とを有する画像処理部と、更に、前記被検査対象物上の光学像を観察するために前記撮像光学系と並設された光学顕微鏡とを備えたことを特徴とする欠陥検査装置。

【請求項 32】前記光学顕微鏡を紫外線光学顕微鏡で構成することを特徴とする請求項 31 記載の欠陥検査装置。

【請求項 33】被検査対象物の表面に対して光を照明する照明光学系と、被検査対象物から反射する光を光電変換手段で受光して信号に変換して検出する検出光学系と、該検出光学系で検出した信号を処理して欠陥検査を行な

い、この欠陥検査結果を欠陥の存在するパターン情報を含めて出力する手段を有する画像処理部とを備えたことを特徴とする欠陥検査装置。

【請求項 34】前記画像処理部の手段において、出力されるパターン情報が、構造物の設計データから得られた情報であることを特徴とする請求項 33 記載の欠陥検査装置。

【請求項 35】被検査対象物の表面に対して光を照明する照明光学系と、被検査対象物から反射する光を光電変換手段で受光して信号に変換して検出する検出光学系と、該検出光学系で検出した信号を処理して欠陥の信号レベルを抽出し、この抽出された欠陥の信号レベルを欠陥の大きさを示すように補正し、この補正された欠陥の信号レベルを出力する手段を有する画像処理部とを備えた欠陥検査装置。

【請求項 36】前記手段において、欠陥の信号レベルの補正を、照明強度、または構造物表面の反射率のデータに基いて行なうことを特徴とする請求項 35 記載の欠陥検査装置。

【請求項 37】前記照明光学系において、前記スリット状ビーム光束として、前記光源から出射されるビームを、前記被検査対象基板上における検出領域に対して、該検出領域の光軸から周辺部までの長さをほぼ標準偏差とするガウス分布となる照度分布を有するように整形してスリット状ガウスビーム光束を得る光学系を有することを特徴とする請求項 6 または 7 または 8 または 9 または 10 または 11 または 12 または 13 または 14 または 15 記載の欠陥検査装置。

【請求項 38】前記照明光学系において、前記スリット状ビーム光束として、前記光源から出射されるビームを、前記被検査対象基板上における検出領域に対して、該検出領域の中心部の照度に対する検出領域の周辺部の照度の比が 0.46～0.73 程度になるように前記検出領域の光軸を中心とする周辺部間の長さに径もしくは長軸長さを適合させて整形してスリット状ガウスビーム光束を得る光学系を有することを特徴とする請求項 6 または 7 または 8 または 9 または 10 または 11 または 12 または 13 または 14 または 15 記載の欠陥検査装置。

【請求項 39】前記照明光学系で照明されるスリット状ガウスビーム光束が、DUVビーム光束であることを特徴とする請求項 37 または 38 記載の欠陥検査装置。

【請求項 40】前記検出光学系におけるイメージセンサをTDIイメージセンサで構成することを特徴とする請求項 37 または 38 または 39 記載の欠陥検査装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体製造工程、液晶表示素子製造工程プリント基板製造工程等、基板上

にパターンを形成して対象物を製作していく製造工程で、発生する異物等の欠陥を検出し、分析して対策を施す製造工程における異物等の欠陥の発生状況を検査する欠陥検査装置およびその方法に関する。

【0002】

【従来の技術】従来の半導体製造工程では、半導体基板（ウエハ）上に異物が存在すると配線の絶縁不良や短絡などの不良原因になり、さらに半導体素子が、微細化して半導体基板中に微細な異物が存在した場合にこの異物が、キャパシタの絶縁不良やゲート酸化膜などの破壊の原因にもなる。これらの異物は、搬送装置の可動部から発生するものや、人体から発生するもの、プロセスガスによる処理装置内で反応生成されたもの、薬品や材料に混入していたものなど種々の原因により種々の状態で混入される。同様の液晶表示素子製造工程でも、パターン上に異物が混入したり、何らかの欠陥が生じると、表示素子として使えないものになってしまう。プリント基板の製造工程でも状況は同じであって、異物の混入はパターンの短絡、不良接続の原因に成る。従来のこの種の半導体基板上の異物を検出する技術の1つとして、特開昭62-89336号公報（従来技術1）に記載されているように、半導体基板上にレーザを照射して半導体基板上に異物が付着している場合に発生する異物からの散乱光を検出し、直前に検査した同一品種半導体基板の検査結果と比較することにより、パターンによる虚報を無くし、高感度かつ高信頼度な異物及び欠陥検査を可能にするものがある。また、特開昭63-135848号公報（従来技術2）に開示されているように、半導体基板上にレーザを照射して半導体基板上に異物が付着している場合に発生する異物からの散乱光を検出し、この検出した異物をレーザフォトルミネッセンスあるいは2次X線分析（XMR）などの分析技術で分析するものがある。

【0003】また、上記異物を検査する技術として、ウエハにコヒーレント光を照射してウエハ上の繰り返しパターンから射出する光を空間フィルタで除去し繰り返し性を持たない異物や欠陥を強調して検出する方法が知られている。また、ウエハ上に形成された回路パターンに対して該回路パターンの主要な直線群に対して45度傾けた方向から照射して主要な直線群からの0次回折光を対物レンズの開口内に入力させないようにした異物検査装置が、特開平1-117024号公報（従来技術3）において知られている。この従来技術3においては、主要な直線群ではない他の直線群を空間フィルタで遮光することについても記載されている。また、異物等の欠陥検査装置およびその方法に関する従来技術としては、特開平1-250847号公報（従来技術4）、特開平6-258239号公報（従来技術5）、特開平6-324003号公報（従来技術6）、特開平8-210989号公報（従来技術7）、および特開平8-271437号公報（従来技術8）が知られている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記従来技術1～8では、繰り返しパターンや非繰り返しパターンが混在する基板上の微細な異物等の欠陥を、高感度で、且つ高速で検出することは容易にできなかった。即ち、上記従来技術1～8では、たとえばメモリのセル部等の繰り返し部分以外の部分では、検出感度（最小検出異物寸法）が著しく落ちるという課題があった。また、上記従来技術1～8では、照明光を透過するような酸化膜上では、感度が著しく落ちる等の課題があった。また、上記従来技術1～8では、微細な異物等の欠陥を検出できないという課題があった。

【0005】また、上記従来技術1～8では、半導体製造工程の量産立上げ時と量産ラインとが区別されておらず、量産立上げ作業で使用した検査装置がそのまま量産ラインでも適用されており、量産ラインでは異物発生をいち早く感知し対策を施す必要がある。ところが従来の欠陥検査装置は装置規模が大きく、独立して設置せざるおえない構成であったため、製造ラインで処理した半導体基板、液晶表示素子基板およびプリント基板を検査装置の箇所に持ち込んで異物および欠陥の検査をするものであった。したがって、これら基板の搬送、異物および欠陥の検査に時間を要し、全数の検査が難しかったり、抜き取り検査であっても十分な検査頻度を得ることは難しかった。また、このような構成には人手が必要であった。

【0006】本発明の目的は、上記課題を解決すべく、繰り返しパターンと非繰り返しパターンとパターンなしとが混在する被検査対象基板に対して、微小な異物等の欠陥を高速で、しかも高精度に検査できるようにした欠陥検査装置およびその方法を提供することにある。また、本発明の他の目的は、全数の検査、十分な検査頻度の抜き取り検査実現し、高効率の基板製造ラインを構築できるようにした欠陥検査装置およびその方法を提供することにある。また、本発明の更なる他の目的は、通常の安価な光源、例えばレーザ光源から出射されるガウスビーム光束の光量を有効利用し、0.1μm程度以下の極微小な異物等の欠陥をも、高感度で、且つ高速で検査できるようにした欠陥検査装置およびその方法を提供することにある。また、本発明の更なる他の目的は、例えばレーザ光源から出射されるガウスビーム光束の光量を有効利用し、しかも検出光学系において光軸から離れるに従ってMTFが低下するに従って被検査対象基板上の検出領域の周辺部における照度不足を解消し、0.1μm程度以下の極微小な異物等の欠陥をも、高感度で、且つ高速で検査できるようにした欠陥検査装置およびその方法を提供することにある。

【0007】また、本発明の更なる他の目的は、被検査対象基板上に配列された構造物内の各種回路パターン領域に合わせて判定基準であるしきい値レベルを最適な感



度に設定して虚報を著しく増加させることなく、真の異物等の欠陥を検査できる欠陥検査装置を提供することにある。また、本発明の更なる他の目的は、被検査対象基板上に配列された構造物内の各種回路パターン領域において検出したい異物等の欠陥サイズに合わせて判定基準であるしきい値レベルを設定して検出したいサイズの異物等の欠陥を検査することができる欠陥検査装置を提供することにある。また、本発明の更なる他の目的は、被検査対象基板上に配列された構造物内の各種回路パターン領域において存在する異物等の欠陥のサイズを推定できるようにして異物等の欠陥を検査することができる欠陥検査装置を提供することにある。

【0008】また、本発明の更なる他の目的は、半導体基板を高効率で、歩留まりよく製造できるようにした半導体基板の製造方法を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明は、長手方向にはほぼ平行光からなるスリット状ビームを、回路パターンが形成された被検査対象基板に対して、該基板の法線方向から所定の傾き( $\pi/2 - \alpha$ )を有し、前記回路パターンの主要な直線群に対して平面上所定の傾き $\phi$ 1を有し、長手方向が前記被検査対象基板を載置して走行させるステージの走行方向に対してほぼ直角になるように照明する照明過程と、該照明過程で照明された被検査対象基板上に存在する異物等の欠陥から得られる反射散乱光をイメージセンサで受光して信号に変換して検出する検出過程と、該検出過程で検出された信号に基いて異物等の欠陥を示す信号を抽出する欠陥判定過程とを有することを特徴とする欠陥検査方法である。また、本発明は、前記欠陥検査方法における検出過程において、被検査対象基板上に存在する回路パターンの少なくとも繰り返しパターンからの回折光パターンを空間フィルタによって遮光することを特徴とする。また、本発明は、前記欠陥検査方法における欠陥判定過程において、本来同一の回路パターンが形成された箇所またはその近傍から前記検出によって得られる信号に基にしてばらつきを算出し、該算出されたばらつきに基づいて設定される判定基準(しきい値)を基に前記検出された信号から異物等の欠陥を示す信号を抽出することを特徴とする。また、本発明は、前記欠陥検査方法における欠陥判定過程において、前記検出された信号に対して前記回路パターンを構成する各種領域毎に設定された判定基準(しきい値)に基いて異物等の欠陥を示す信号を抽出することを特徴とする。また、本発明は、前記欠陥検査方法における照明過程において、スリット状ビームの回路パターンの主要な直線群に対する平面上の傾き $\phi$ 1が45度程度であることを特徴とする。

【0010】また、本発明は、回路パターンが形成された被検査対象基板を載置して走行させるステージと、光源から出射されるビームを、長手方向にはほぼ平行光か

らなるスリット状ビームにして、前記被検査対象基板に対して、該基板の法線方向から所定の傾き( $\pi/2 - \alpha$ )を有し、前記回路パターンの主要な直線群に対して平面上所定の傾き $\phi$ 1を有し、長手方向が前記ステージの走行方向に対してほぼ直角になるように照明する照明光学系と、該照明光学系によってスリット状ビームが照明された被検査対象基板上に存在する異物等の欠陥から得られる反射散乱光をイメージセンサで受光して信号に変換して検出する検出光学系と、該検出光学系のイメージセンサから検出された信号に基いて異物等の欠陥を示す信号を抽出する画像処理部とを備えたことを特徴とする欠陥検査装置である。また、本発明は、前記欠陥検査装置における画像処理部において、本来同一の回路パターンが形成された箇所またはその近傍から前記検出光学系のイメージセンサから検出によって得られる信号に基にしてばらつきを算出し、該算出されたばらつきに基づいて判定基準(しきい値)を設定する判定基準設定手段と該判定基準設定手段で設定された判定基準を基に前記検出光学系のイメージセンサから検出された信号から異物等の欠陥を示す信号を抽出する抽出手段とを有することを特徴とする。また、本発明は、前記欠陥検査装置における画像処理部において、前記検出された信号に対して前記回路パターンを構成する各種領域毎に設定された判定基準に基いて異物等の欠陥を示す信号を抽出する手段を有することを特徴とする。また、本発明は、前記欠陥検査装置における検出光学系において、光軸が、被検査対象基板に対してほぼ垂直であることを特徴とする。

【0011】また、本発明は、前記欠陥検査装置における照明光学系において、光源がレーザ光源であることを特徴とする。また、本発明は、前記欠陥検査装置における照明光学系において、円錐表面に近似する形状の絞る光学要素を有することを特徴とする。また、本発明は、前記欠陥検査装置における照明光学系において、更に、白色光を法線に対して傾けた方向から照明する光学系を備えたことを特徴とする。また、本発明は、前記欠陥検査装置における検出光学系において、空間フィルタを備えたことを特徴とする。また、本発明は、前記欠陥検査装置において、検出光学系におけるイメージセンサをTDIセンサで構成することを特徴とする。また、本発明は、前記TDIセンサがアンチブルーミングタイプであることを特徴とする。

【0012】また、本発明は、前記欠陥検査装置における検出光学系において、光軸を被検査対象基板の法線に対して傾けたことを特徴とする。また、本発明は、被検査対象物の表面に対して法線方向からある傾きを持って光を照明し、被検査対象物の表面内の少なくとも一方向に照明光束を絞るための円錐表面に近似した形状の光学要素を有する照明光学系と、前記被検査対象物から反射する光をイメージセンサで受光して信号に変換して検出する検出光学系と、該検出光学系で検出された信号を処

理する画像処理部とを備えたことを特徴とする欠陥検査装置である。また、本発明は、被検査対象物の表面に対して光を照明する照明光学系と、生み出された電荷を蓄積する手段と蓄積した電荷がある一定量を越えた際に該一定量を越えた電荷を流し出す電流経路と該一定量までの範囲の蓄積された電荷を読み出す手段とで構成されるイメージセンサを有し、前記被検査対象物から反射する光を、前記イメージセンサで受光して信号に変換して検出する検出光学系と、該検出光学系で検出された信号を処理する画像処理部とを備えたことを特徴とする欠陥検査装置である。

【0013】また、本発明は、前記欠陥検査装置における検出光学系において、被検査対象物からの反射光束を分岐し、該分岐される一つの反射光束の強度を他の一つの反射光束の強度の概ね  $1/100$  にする分岐光学系と、該分岐光学系で分岐された各反射光束の受光する複数のイメージセンサとを有することを特徴とする。また、本発明は、被検査対象物の表面に対して光を照明する照明光学系と、前記被検査対象物の表面に形成されたパターンからの散乱光を遮光するようにほぼ平行に設置された線状の複数の遮光手段を有し、光軸が前記被検査対象物の表面の法線方向からある一定角度の傾きを有し、前記被検査対象物から反射する光を光電変換手段で受光して信号に変換して検出する検出光学系と、該検出光学系で検出された信号を処理する画像処理部とを備えたことを特徴とする欠陥検査装置である。また、本発明は、複数のほぼ同一形状の構造物が配列された被検査対象物の表面に対して光を照明する照明光学系と、被検査対象物からの反射光をイメージセンサで受光して画像信号に変換して検出する検出光学系と、該検出光学系から検出された画像信号を基に同一形状の構造物の対応する対応画素またはその近傍の画素について画像信号のばらつきを算出し、該算出されたばらつきに応じて異物等の欠陥の存在を判定する画素の信号レベルの判定基準（しきい値）を設定する判定基準設定手段と該判定基準設定手段で設定された判定基準を基に前記検出光学系から検出された画像信号に対して欠陥の存在を判定する判定手段とを有し、前記画像信号を処理する画像処理部とを備えたことを特徴とする欠陥検査装置である。

【0014】また、本発明は、前記欠陥検査装置における画像処理部には、前記画像信号のばらつきに対する前記判定基準の倍率を設定する設定手段を有することを特徴とする。また、本発明は、複数のほぼ同一形状の構造物が配列された被検査対象物の表面に対して光を照明する照明光学系と、被検査対象物からの反射光をイメージセンサで受光して画像信号に変換して検出する検出光学系と、該検出光学系から検出された画像信号を基に同一形状の構造物の対応する画素についての画像信号の差分値を算出する差分値算出手段と異物等の欠陥の存在を判定する画素に近隣する複数の画素における前記差分値算

出手段で算出された差分値のばらつきを算出し、該算出されたばらつきに応じて異物等の欠陥の存在を判定する画素の信号レベルの判定基準を設定する判定基準設定手段と該判定基準設定手段で設定された判定基準を基に前記検出光学系から検出された画像信号に対して欠陥の存在を判定する判定手段とを有し、前記画像信号を処理する画像処理部とを備えたことを特徴とする欠陥検査装置である。また、本発明は、前記欠陥検査装置における画像処理部には、前記判定手段で判定された欠陥の検査結果と前記判定基準設定手段で設定された判定基準に対応するデータとを出力する出力手段を有することを特徴とする。

【0015】また、本発明は、複数のほぼ同一形状の構造物が配列された被検査対象物の表面に対して光を照明する照明光学系と、被検査対象物からの反射光をイメージセンサで受光して画像信号に変換して検出する検出光学系と、該検出光学系から検出された画像信号に対して判定基準を基に欠陥の存在を判定する判定手段と該判定手段において判定される判定基準についての同一形状の構造物に対するマップ情報もしくは画像を表示する表示手段とを有する画像処理部とを備えたことを特徴とする欠陥検査装置である。また、本発明は、前記欠陥検査装置における画像処理部には、エリア優先モード、標準モード、および感度優先モードに応じて前記判定基準を設定可能な手段を有することを特徴とする。また、本発明は、複数のほぼ同一形状の構造物が配列された被検査対象物の表面に対して光を照明する照明光学系と、被検査対象物からの反射光をイメージセンサで受光して画像信号に変換して検出する検出光学系と、該検出光学系から検出された画像信号に対して判定基準を基に欠陥の存在を判定する判定手段と該判定手段において判定される判定基準とそれに対応する検査面積に関する指標との関係を表示する表示手段とを有する画像処理部とを備えたことを特徴とする欠陥検査装置である。

【0016】また、本発明は、複数のほぼ同一形状の構造物が配列された被検査対象物の表面に対して光を照明する照明光学系と、被検査対象物からの反射光をイメージセンサで受光して画像信号に変換して検出する検出光学系と、該検出光学系から検出された画像信号に対して判定基準を基に欠陥の存在を判定する判定手段と該判定手段において判定される判定基準に対応した同一形状の構造物に対する感度情報を表示する表示手段とを有する画像処理部とを備えたことを特徴とする欠陥検査装置である。また、本発明は、複数のほぼ同一形状の構造物が配列された被検査対象物の表面に対して光を照明する照明光学系と、被検査対象物からの反射光をイメージセンサで受光して画像信号に変換して検出する検出光学系と、判定基準を、前記同一形状の構造物における下地の状態に対応させて変えて設定する判定基準設定手段と該判定基準設定手段によって設定された判定基準を基に、

前記検出光学系から検出された画像信号に対して欠陥の存在を判定する判定手段とを有し、前記画像信号に対して処理する画像処理部とを備えたことを特徴とする欠陥検査装置である。また、本発明は、複数のほぼ同一形状の構造物が配列された被検査対象物の表面に対して光を照明する照明光学系と、被検査対象物からの反射光をイメージセンサで受光して画像信号に変換して検出する検出光学系と、欠陥のサイズを指定する指定手段と該指定手段によって指定された欠陥のサイズに応じて判定基準を設定する判定基準設定手段と該判定基準設定手段によって設定された判定基準を基に、前記検出光学系から検出された画像信号に対して欠陥の存在を判定する判定手段とを有し、前記画像信号に対して処理する画像処理部とを備えたことを特徴とする欠陥検査装置である。

【0017】また、本発明は、複数のほぼ同一形状の構造物が配列された被検査対象物の表面に対して光を照明する照明光学系と、被検査対象物からの反射光をイメージセンサで受光して画像信号に変換して検出する検出光学系と、欠陥のサイズを指定する指定手段と該指定手段された欠陥のサイズに応じて前記照明光学系で照明される照明光のパワーを制御する制御系とを有し、前記検出光学系から検出される画像信号に対して処理する画像処理部とを備えたことを特徴とする欠陥検査装置である。また、本発明は、ステージ上に載置され、複数のほぼ同一形状の構造物が配列された被検査対象物の表面に対して光を照明する照明光学系と前記被検査対象物からの反射光をイメージセンサで受光して画像信号に変換して検出する検出光学系とを有する撮像光学系と、該撮像光学系の検出光学系から検出された画像信号に対して判定基準を基に欠陥の存在を判定する判定手段を有する画像処理部と、更に、前記被検査対象物上の光学像を観察するために前記撮像光学系と並設された光学顕微鏡とを備えたことを特徴とする欠陥検査装置である。

【0018】また、本発明は、前記欠陥検査装置における光学顕微鏡を紫外線光学顕微鏡で構成することを特徴とする。また、本発明は、被検査対象物の表面に対して光を照明する照明光学系と、被検査対象物から反射する光を光電変換手段で受光して信号に変換して検出する検出光学系と、該検出光学系で検出した信号を処理して欠陥検査を行ない、この欠陥検査結果を欠陥の存在するパターン情報を含めて出力する手段を有する画像処理部とを備えたことを特徴とする欠陥検査装置である。また、本発明は、前記欠陥検査装置における画像処理部の手段において、出力されるパターン情報が、構造物の設計データから得られた情報であることを特徴とする。また、本発明は、被検査対象物の表面に対して光を照明する照明光学系と、被検査対象物から反射する光を光電変換手段で受光して信号に変換して検出する検出光学系と、該検出光学系で検出した信号を処理して欠陥の信号レベルを抽出し、この抽出された欠陥の信号レベル

を欠陥の大きさを示すように補正し、この補正された欠陥の信号レベルを出力する手段を有する画像処理部とを備えた欠陥検査装置である。

【0019】また、本発明は、前記欠陥検査装置における手段において、欠陥の信号レベルの補正を、照明強度、または構造物表面の反射率のデータに基いて行なうことを特徴とする。また、本発明は、前記欠陥検査装置における照明光学系において、前記スリット状ビーム光束として、前記光源から出射されるビームを、前記被検査対象基板上における検出領域に対して、該検出領域の光軸から周辺部までの長さをほぼ標準偏差とするガウス分布となる照度分布を有するように整形してスリット状ガウスビーム光束を得る光学系を有することを特徴とする。また、本発明は、前記欠陥検査装置における照明光学系において、前記スリット状ビーム光束として、前記光源から出射されるビームを、前記被検査対象基板上における検出領域に対して、該検出領域の中心部の照度に対する検出領域の周辺部の照度の比が0.46~0.73程度になるように前記検出領域の光軸を中心とする周辺部間の長さに径もしくは長軸長さを適合させて整形してスリット状ガウスビーム光束を得る光学系を有することを特徴とする。また、本発明は、前記欠陥検査装置における照明光学系で照明されるスリット状ガウスビーム光束が、DUVビーム光束であることを特徴とする。また、本発明は、前記欠陥検査装置において、検出光学系におけるイメージセンサをTDIイメージセンサで構成することを特徴とする。

【0020】以上説明したように、前記構成によれば、繰り返しパターンと非繰り返しパターンとパターンなしとが混在する被検査対象基板に対して、微小な異物等の欠陥を高速で、しかも高精度に検査することができる。また、前記構成によれば、通常の安価な光源、例えばレーザ光源から出射されるガウスビーム光束の光量を有効利用し、0.1 $\mu$ m程度以下の極微小な異物等の欠陥をも、高感度で、且つ高速で検査することができる。また、前記構成によれば、例えばレーザ光源から出射されるガウスビーム光束の光量を有効利用し、しかも検出光学系において光軸から離れるに従ってMTFが低下するに従って被検査対象基板上の検出領域の周辺部における照度不足を解消し、0.1 $\mu$ m程度以下の極微小な異物等の欠陥をも、高感度で、且つ高速で検査できるようにした欠陥検査装置およびその方法を提供することにある。また、前記構成によれば、被検査対象基板上に配列された構造物内の各種回路パターン領域に合わせて判定基準であるしきい値レベルを最適な感度に設定して虚報を著しく増加させることなく、真の異物等の欠陥を検査することができる。

【0021】また、前記構成によれば、被検査対象基板上に配列された構造物内の各種回路パターン領域において検出したい異物等の欠陥サイズに合わせて判定基準で

あるしきい値レベルを設定して検出したいサイズの異物等の欠陥を検査することができる。また、前記構成によれば、被検査対象基板上に配列された構造物内の各種回路パターン領域において存在する異物等の欠陥のサイズを推定できるようにして異物等の欠陥を検査することができる。また、前記構成によれば、全数の検査、十分な検査頻度の抜き取り検査実現し、高効率の基板製造ラインを構築することができる。

## 【0022】

【発明の実施の形態】本発明に係る実施の形態を図を用いて説明する。まず、本発明に係る異物等の欠陥を検査する被検査対象物1について図1および図2を用いて説明する。異物等の欠陥を検査する被検査対象物1としては、図1に示すように、メモリLSIからなるチップ1a aを所定の間隔で2次元に配列した半導体ウエハ1aがある。そして、メモリLSIからなるチップ1a aには、主としてメモリセル領域1a bと、デコーダやコントロール回路等からなる周辺回路領域1a cと、その他の領域1a dとが形成されている。メモリセル領域1a bは、最小線幅が例えば0.1~0.3μm程度のメモリセルパターンを2次元に規則的に配列して（繰り返して）形成している。しかしながら、周辺回路領域1a cは、最小線幅が例えば0.2~0.4μm程度のパターンを2次元的に規則的に配列されていない非繰り返しパターンで形成されている。また、その他の領域としては、例えば、ボンディングエリア領域（最小線幅が例えば10μmオーダー程度で、パターンなしに近い）がある。

【0023】異物等の欠陥を検査する被検査対象物1としては、図2に示すように、マイコン等のLSIからなるチップ1b aを所定の間隔で2次元に配列した半導体ウエハ1bがある。そして、マイコン等のLSIからなるチップ1b aは、主としてレジスタ群領域1b bと、メモリ部領域1b cと、CPUコア部領域1b dと、入出力部領域1b eとで形成されている。なお、図2は、メモリ部領域1b cと、CPUコア部領域1b dと、入出力部領域1b eとの配列を概念的に示したものである。レジスタ群領域1b bおよびメモリ部領域1b cは、最小線幅が0.1~0.3μm程度のパターンを2次元に規則的に配列して（繰り返して）形成している。CPUコア部領域1b dおよび入出力部領域1b eは、最小線幅が0.1~0.3μm程度のパターンを非繰り返しで形成している。このように、異物等の欠陥を検査する被検査対象物1は、半導体ウエハを対象としても、チップは規則的に配列されているが、チップ内においては、最小線幅が領域毎に異なり、しかもパターンが繰り返し、非繰り返し、なしであったり、様々な形態が考えられる。

【0024】本発明に係る異物等の欠陥検査装置および方法は、このような被検査対象物1において、チップ内

の非繰り返しパターン領域上の直線群からなるパターン（線状パターン）からの0次回折光を、図12および図21に示すように対物レンズの入射瞳20a、20cに入射させないようにすると共に非繰り返しパターン領域上に存在する異物等の欠陥によって生じる散乱光を受光することによって異物等の欠陥から信号を検出できるようにし、その欠陥の位置座標を算出できるようにした。また、本発明に係る異物等の欠陥検査装置および方法は、上記被検査対象物1では、欠陥にならないプロセスの微妙な違い、検出時のノイズ等により背景信号にばらつきが生じたとしても、このばらつきに応じて異物等の欠陥を抽出するための閾値を設定することによって異物等の欠陥の検出感度およびスループットを向上するようにした。

【0025】次に、本発明に係る異物等の欠陥検査装置の第1の実施の形態を図3および図4を用いて説明する。異物等の欠陥検査装置の第1の実施の形態は、基板設置台304、xyzステージ301、302、303およびステージコントローラ305から構成されるステージ部300と、レーザ光源101、凹レンズ102および凸レンズ103より構成されるビームスプリッタ、および円錐曲面を持つ照明レンズ104より構成される3つの照明光学系部100と、検出レンズ201、空間フィルタ202、結像レンズ203、ND（Neutral Density）フィルタ207、ビームスプリッター204、偏光素子208、TDIセンサ等の1次元検出器（イメージセンサ）205、206より構成される検出光学系部200と、図4に示すようにA/D変換部401、例えばチップ間には必ずパターンが繰り返されることから1チップ分遅延させるデータメモリ402、チップ間の信号の差をとる差分処理回路403、チップ間の差信号を一時記憶するメモリ404、差信号における通常でない最大および最小の信号を除去する最大最小除去回路405、信号レベルsの2乗算出回路406、信号レベルsの算出回路407、個数カウント回路408、sの2乗を積分する2乗和算出回路409、sを積分する和算出回路410、ばらつきを求めるためのサンプリング個数nを算出する計数回路411、上限判定基準（正側閾値）算出回路412、下限判定基準（負側閾値）算出回路413、比較回路414、415、異物等の欠陥検出結果を記憶すると共に欠陥検出結果を出力する出力手段417より構成される演算処理部400と、白色光源106、照明レンズ107より構成される白色照明光学系部500とにより構成される。特に、TDIセンサとしては、アンチブルーミングタイプが望ましい。このようにTDIセンサとして、アンチブルーミングタイプを用いると、飽和領域近傍での異物等の欠陥検査が可能となる。

【0026】なお、演算処理部400については、後で詳しく説明する。3つの照明光学系部100は、レーザ

光源 101 から射出された光を、凹レンズ 102 および凸レンズ 103 より構成されるビームスプリッタ、円錐曲面を持つ照明レンズ 104 を通して、図 5 に示すようにスリット状のビーム 3 を平面的に 3 方向 10、11、12 から載置台 304 上に設置されたウエハ（被検査対象基板）1 に対して上記スリット状のビーム 3 の長手方向がチップの配列方向に向くように照明するよう構成される。なお、照明光として、スリット状のビーム 3 にするのは、異物等の欠陥の検査を高速化を実現したためである。即ち、図 5 に示すように、x ステージ 301 の走査方向の x 方向および y ステージ 302 の走査方向の y 方向に向けてチップ 2 を配列したウエハ 1 上に照明されるビーム 3 は、y ステージ 302 の走査方向 y に狭く、その垂直方向 x（x ステージ 301 の走査方向）に広いスリットビームで照明する。そして、このスリット状のビーム 3 は、y 方向には、光源の像が結像するように、x 方向には、平行光になるように照明される訳である。なお、3 方向 10、11、12 からのスリット状のビーム 3 の照明は、個別に行ってもよいし、また 2 方向 10、12 からは同時に行ってもよい。ところで、スリット状のビーム 3 の長手方向を、ウエハ（被検査対象基板）1 に対してチップの配列方向に向け、且つ y ステージ 302 の走査方向 y に対して直角にしたのは、TDI センサ 205、206 の積分方向とステージの走行方向とを平行に保つことができるようにして、図 14 に示すように、通常の TDI センサを用いることができるようにし、しかも画像信号のチップ間比較を簡素化することができると共に欠陥位置座標の算出も容易に行うことができ、その結果異物等の欠陥検査の高速化を実現できるようにした。特に、方向 10 および 12 からのスリット状のビーム 3 の照明で、ウエハ（被検査対象基板）1 に

$$x^2 + y^2 = (z \tan \theta 1)^2$$

また、図 8 に示す曲面 24 は、原点を頂点に置き、頂角を  $\theta 2$  とすると、次に示す（数 2）式に従うことにな

$$(x - z \tan \theta 2)^2 + y^2 = (z \cdot \tan \theta 2)^2 \quad (\text{数 2})$$

なお、円錐レンズ 104 の作成方法は、ここで示した作成方法に限らず、他の方法、たとえば、あらかじめ作成した、円錐面を有する型に、たとえばプラスチック等を流し込む射出成型法、あらかじめ作成した円錐面にガラス基板を乗せ、基板を熔融させる方法等でも作成できる。

【0029】本発明では、この円錐レンズ 104 を用いて y 方向クリティカル、x 方向コリメートの照明を実現している。そのための構成を図 9（a）、（b）に示す。レーザ光源 101 から射出した光は、凹レンズ 102、凸レンズ 103 から構成されるビームエキスパンダを介して、円錐レンズ 104 に入射する。円錐レンズ 104 では、x 方向にはレンズ効果を持たないためコリメートされた形で照明される。また円錐レンズ 104 の両端で、曲率が異なるため、焦点位置が異なる。同時に、

対してチップの配列方向に向け、且つ y ステージ 302 の走査方向 y に対して直角になるようにするためには、円錐曲面を持つ照明レンズ 104 が必要となる。

【0027】図 6 に円錐形状の照明レンズ 104 を示す。この照明レンズ 104 は、シリンドリカルレンズの長手方向の位置で、焦点距離が異なり、直線的にこの焦点距離を変えたレンズである。この構成により、図 6 に示すように斜めから照明（ $\alpha 1$ 、 $\phi 1$  の傾きを両立）しても、y 方向に絞り込み、x 方向にコリメートされたスリット状のビーム 3 で照明することができる。即ち、この照明レンズ 104 により、図 9（a）に示すような x 方向に平行光を有し、かつ  $\phi 1 = 45$  度付近の照明を実現することができる。特に図 9（a）に示すように、スリット状のビーム 3 を x 方向に平行光にすることによって、主要な直線群が x 方向および y 方向を向いた回路パターンから回折光パターンが得られ、空間フィルタ 202 によって遮光することができることになる。次に、円錐曲面を持つ照明レンズ 104 の製造方法について、図 7 および図 8 を用いて説明する。この円錐レンズ 104 は、ガラス或いは石英等を材料にして、所定の底面積および高さを有する円錐 23 を磨きだし、所定の位置から片側平面のレンズを切り出して作成することができる。本発明で必要とされる図 6 に示したレンズの曲面は、本来円錐でなく、図 8 に示したような曲面 24 で有るべきである。しかしながら、図 8 に示した立体は、回転体でないため、磨くことが難しいため、図 7 に示した円錐 23 で近似している。現実には、N. A. が 0.02 から 0.2 程度のレンズであれば、大きな問題はない。

【0028】図 7 に示す円錐 23 面の形状は、原点を頂点に置き、頂角を  $\theta 1$  とすると、次に示す（数 1）式に従うことになる。

$$(x^2 + y^2) = (z \tan \theta 1)^2 \quad (\text{数 1})$$

る。

y 方向では、円錐レンズ 104 の曲率によりウエハ 1 上に集光する。

【0030】図 10 は、レーザ光源 101 として、一つのレーザ光源 101 で構成した 3 つの照明光学系部 100 を示す平面図である。レーザ光源 101 から出射したレーザビームをハーフミラー等の分岐光学要素 110 で 2 つの光路に分岐し、一方はミラー 111、112 で反射させてミラー 113 で下方に向けて凹レンズ 102 に入射させることによって 11 の方向からの照明ビームを得ることができ、他方はハーフミラー等の分岐光学要素 114 へと進行する。該分岐光学要素 114 で分岐された一方は、ミラー 115 で反射させてミラー 117 で下方に向けて凹レンズ 102 に入射させることによって 10 の方向からの照明ビームを得ることができ、他方はミラー 116 で下方に向けて凹レンズ 102 に入射させる



ことによって10の方向からの照明ビームを得ることができる。ところで、11の方向からのみ照明する場合には、分岐光学要素110からミラー要素118に切り換えることによって実現することができる。また、10および12の方向からのみ照明する場合には、光路から分岐光学要素110を退出させるかまたは素通りの光学要素に切り換えることによって実現することができる。また、10および12方向からの照明の内、例えば12方向からのみ照明する場合には、分岐光学要素114からミラー要素119に切り換えることによって実現することができる。

【0031】なお、レーザ光源101として、分岐する関係で高出力のYAGレーザの第2高調波SHG、波長532nmを用いるのがよいが、必ずしも532nmである必要はない。また、レーザ光源101として、YAGSHGである必要もない。すなわち、レーザ光源101として、Arレーザ、窒素レーザ、He-Cdレーザ、エキシマレーザ等他の光源であっても良い。検出光学系部200は、ウエハ1から射出した光を、検出レンズ（対物レンズ）201、繰返しパターンからの反射回折光によるフーリエ変換像を遮光する空間フィルタ202、結像レンズ203、NDフィルタ（波長帯域によらず光量を調整する。）207、ビームスプリッター204、偏光素子208を通して、TDIセンサ等の1次元検出器205、206で検出するように構成される。空間フィルタ202は、繰返しパターンからの反射回折光によるフーリエ変換像を遮光すべく、対物レンズ201の空間周波数領域、即ちフーリエ変換（射出瞳に相当する。）の結像位置に置かれている。また、偏光素子208は、照明光学系部100で偏光照明した際、回路パターンのエッジから生じる反射散乱光による偏光成分を遮光し、異物等の欠陥から生じる反射散乱光による偏光成分の一部分を透過するもので、本発明においては必ずしも必要としない。ここで、図5に示すウエハ1上の照明エリア4が、リレーレンズを構成する対物レンズ201、結像203により、検出器205、206上に結像される。即ち、4は、TDIセンサ等の1次元検出器205、206の受光エリアを示すものである。

【0032】前述したように様々な形態の回路パターンが形成されたウエハ（基板）1に対してスリット状のビーム3が照明されると、この反射回折光（あるいは散乱光）が、ウエハの表面、回路パターン、異物等の欠陥から射出することになる。この射出した光は、検出レンズ201、空間フィルタ202、結像レンズ203、NDフィルタ207、偏光素子208、およびビームスプリッター204を通して、検出器205、206で受光されて光電変換される。ここで、NDフィルタ207、偏光素子208、ビームスプリッター204の順序は、ここにあげた順序である必要はない。特に、NDフィルタ207は、ビームスプリッター204の後に配置する

と、2つの検出器205、206に入る光の強度を独立に制御できるという効果を持つ。また、ビームスプリッター204の透過、反射率は、50%である必要はない。たとえば、1%、99%と言う風に構成すると、一方の検出器に約100分の1の強度の光が入射することになり、これら強度の異なる光をそれぞれ受光する2つの検出器から得られる信号を用いることで、検出器の見かけ上のダイナミックレンジを向上することが出来る。従って、演算処理部400において、検出器205から得られる信号と検出器206から得られる信号とを用いることによってダイナミックレンジを向上させた異物等の欠陥からの検出信号を得ることができる。特に、強度が大きい光を検出器が受光して得られる信号は強度が大きい欠陥を示す成分が強調されることになり、強度が小さい光を検出器が受光して得られる信号は強度が小さい背景に近い成分が強調されることになる。従って、両信号の比などの相関をとることによって欠陥を示す信号のダイナミックレンジを向上させることができる。しかし、レーザ光源101等の照明光学系から照射されるビーム光束の照度（パワー）を制御して変えることによっても、ダイナミックレンジを変えることができ、ビームスプリッター204および一方の検出器206をなくすることができる。

【0033】次に、本発明に係る照明光学系部100でウエハ1に対して照明するスリット状のビーム3と検出光学系部200との関係について更に具体的に説明する。図5には、スリット状のビーム3による照明とTDIセンサ等の1次元検出器205、206による検出の方向の平面図を示す。パターン2が形成されたウエハ1上を、スリット状のビーム3で照明する。1次元検出器205、206の検出光学系による像4を示す。スリット状のビーム3は、平面的な方向10、11、12から照明される。図11(a)は、図5を補足説明するものであり、照明方向10、検出方向14（ウエハの表面と垂直の場合を示す）、x軸、y軸を示している。また、球面17は、仮想に想定したものであり、図5で検出光学系部100における対物レンズ201の開口位置を考えるためのものである。この球面17と照明光10、検出光14との交点がそれぞれ15、16である。図11(b)は、方向10から照明した際の回折光の射出の様子を示す。正反射光の射出方向19と仮想球面17との交点18を0次光として、図7(b)に示すようにパターン方向（x方向、y方向）を中心とし、照明点を頂点とする円錐の稜の方向に射出するため、仮想球面17との交点の奇跡は、この円錐の底面の円周上になる。

【0034】従って、この奇跡を法線方向から見るとx軸、y軸に平行な直線になる。

【0035】ところで、 $\beta_1=0$ の傾いていない検出光学系部200における対物レンズ201の開口は、図12および図13に示す開口20aとなる。ここで、照明

の方向10、12の角度 $\phi 1$ 、 $\phi 2$ は、たとえば、45度程度に設定する。図3に示すように検出光学系200の光軸をウエハ1の表面に対して垂直、すなわち $\beta 1=0$ にした場合、検出レンズ（対物レンズ）201の開口数（N. A.）と照明光の角度 $\alpha 1$ （図3）との関係は、図12に示すように、主たる直線群がxおよびy方向に向いた回路パターンからのx、およびy方向の0次の回折光21x、21yが検出レンズ201の瞳に入射させない条件を元に、次に示す（数3）式から決定される範囲に設定されるべきである。即ち、照明の方向1

$$N. A. < \cos \alpha 1 \cdot \sin \phi 1 \quad \text{かつ}$$

$$N. A. < \cos \alpha 1 \cdot \sin (\pi / 2 - \phi 1) \quad \text{(数3)}$$

なお、 $\alpha 1$ を30°以下にすれば、対物レンズ201の開口数（N. A.）を約0.4以下にすればよい。これらの条件は、特に、被検査対象物1として、メモリLSI 11aにおける非繰り返しパターンを有する周辺回路領域1ac、マイコン等のLSI 11bにおける非繰り返しパターンを有するCPUコア部領域1bdおよび入出力部領域1be、および非繰り返しパターンを有するロジックLSI等に対して有効になる。これらLSIパターンは、多くの場合、直角平行に（主要な直線群が直角に）パターンが形成されているため、これらの0次回折光が特定の方向に射出することになる。そこで、この射出した0次回折光を対物レンズ201に入射させないようにすることで、これらの多くのパターンからの回折光が消去され、異物等の欠陥からの反射回折光のみの検出を容易にする。具体的には、回路パターンからの検出信号レベルが低下して異物等の欠陥を高感度での検出可能領域が増えることになる。当然、非繰り返しパターンの場合、高次（1次、2次、3次、・・・）の回折光は対物レンズ201の開口20aに入射されることになるので、この高次の回折光は、図12に示す0次の回折光21x、21yと平行な直線群として現れることになる。そこで、このような高次の回折光を細帯状の空間フィルタ202で遮光することによって、消去することも可能である。

【0037】また、被検査対象基板（ウエハ）1に対して、配線等の間の凹部に入り込んだ異物あるいは欠陥、エッチ残り等を検査する必要がある。しかしながら、被検査対象基板1上には非繰り返しパターンが存在し、該非繰り返しパターンからの0次の回折光が対物レンズ201に入射しないようにするために、上記に説明したように、y軸に対してほぼ45度の角度の方向10、12からx方向に長手方向を有するスリット状のビーム3を基板1上に照明したのでは、凸部である配線等が邪魔をして凹部を十分に照明することが難しくなる。そこで、配線パターンが多くの場合、直角、平行方向に形成されていることから、y軸に平行な方向11から基板1に対してスリット状のビーム3を照明することによって、配線等の間の凹部を十分に照明することが可能となる。特

0、12の角度 $\phi 1$ 、 $\phi 2$ を、45度程度にし、検出レンズ（対物レンズ）201の開口数（N. A.）と照明光の角度 $\alpha 1$ （図3）との関係を次に示す（数3）式を満足するようにすることによって、非繰り返しパターンであっても、主たる直線群がxおよびy方向に向いた回路パターンからのx、およびy方向の0次の回折光21x、21yを対物レンズ201の開口20aに入射させることをなくすることが可能となる。

【0036】

に、メモリLSIの配線パターンは数mmの長さの直線パターンで有ることが多く、この方向11からの照明により検査可能になることが多い。また、パターンにより、90度方向の場合は、ウエハを90度回転させて検査するか、照明方向をx方向にすることにより検査可能となる。

【0038】しかしながら、方向11からスリット状のビーム3を照明した場合、図13に示すように、0次回折光21x'、21y'の内、y方向の0次回折光21y'が対物レンズ201の開口20aに入射することになるので、少なくともこの0次回折光21y'を空間フィルタ202によって遮光して消去する必要があることになる。この際、当然高次の回折光を空間フィルタ202によって遮光して消去することも可能である。以上、被検査対象基板1上のチップ2内に存在する非繰り返しパターンの場合における非繰り返しパターンからの特に0次回折光の消去方法について説明したが、チップ2内には、メモリLSI 11aにおけるメモリセル領域1abや、マイコン等のLSI 11bにおけるレジスタ群領域1bbおよびメモリ部領域1bcのように、繰り返しパターンが存在することになり、この繰り返しパターンからの回折光（回折干渉光）を空間フィルタ202によって遮光することが要求される。要するに、チップ2内には、繰り返しパターンと非繰り返しパターンとパターンなしとが混在することになり、しかも夫々線幅も異なることになるので、通常は、頻度の多い例えば繰り返しパターンからの回折光を消去するように空間フィルタ202の遮光パターンが設定されることになる。また、空間フィルタ202として、特開平5-218163号公報および特開平6-258239号公報に記載されているように、遮光パターンを変更できるものを用いれば、チップ2内の回路パターンに応じて変更されればよい。また、空間フィルタ202として、遮光パターンが異なるものを用意しておいて、チップ2内の回路パターンに応じて切り換えてもよい。

【0039】次に、検出しようとする異物等の欠陥サイズに応じた検出感度調整について説明する。即ち、TDIセンサ等の1次元検出器（イメージセンサ）205、

206の被検査対象物1上での検出画素サイズを小さくすると、スループットは落ちるものの、検出感度の向上が見込める。そこで、0.1μm程度以下の異物等の欠陥を検出する際、画素サイズを小さくする検出光学系200に切り替えて用いると良い。具体的には、TDIセンサ等の画素についてウエハ1上での像のサイズが2ミクロン、1ミクロン、0.5ミクロンとなるような3種類の検出光学系200を持つと良い。この構成の実現方法として、光学系200すべてを切り替えても良いし、レンズ（レンズ群）203のみを切り替えても良いし、あるいは、レンズ（レンズ群）201を切り替えても良い。この際、ウエハ1から、TDIセンサ等の1次元検出器205、206までの光路長を変えずに済むように、レンズの構成を設計しておくとも良い。もちろん、このような設計が難しい場合、レンズの切り替えに併せて、センサまでの距離を変えられるような機構を用いても良い。また、センサ自体の画素サイズを変えたものを切り替えても良い。次に、3方向からのスリット状のビーム3とTDIセンサ205、206との関係の具体的実施例について図14を用いて説明する。図14には、ウエハ1上のTDIの像4と、方向10からのスリット状ビーム3-10および方向12からのスリット状ビーム3-12との関係を示す。図10に示すように、同一レーザ光源101から分岐して得られる照明ビームを、方向10、12の方向から照明する場合、これらのビームは、それぞれ干渉し、照明範囲内で、強度にばらつきがでてしまう。そこで、図14に示すように、TDIの像4の範囲内で、これらのビーム3-10、3-12が交わらないように照明することにより、干渉の影響を除くことができる。TDIセンサ205、206を用いる場合は、4の範囲内で、検出出力をy方向にyステージの走行と同期して積分することになるため、このように位置がずれていても問題ない。また、照明方向11からのスリット状ビーム3-11を用いる場合も同様に、3つのビームを重ねるが問題にならない範囲で、交わらないように照明すればよい。10、11、12の内2本の

$$\tan \beta 2 = M \cdot \tan \beta 1$$

ただし、Mは検出光学系201～203の倍率とする。なお、1次元のセンサを用いる場合、この傾きβ2は必要ない。

【0042】次に、この第2の実施の形態において、非繰り返しパターン、および繰り返しパターンから生じる回折光を消去して異物等の欠陥からの散乱光をTDIセンサ等の1次元検出器205、206で検出することについて説明する。この第2の実施の形態においても、被検査対象基板（ウエハ）1に対してスリット状のビーム3が図5に示すように照明される。そして、図11

（a）に示すように方向10から照明した際、基板1からの回折光の射出の様子は、第1の実施例と同様に、図11（b）に示すようになる。即ち、正反射光の射出方

ビームを用いる場合も同様であることは言うまでもない。

【0040】また、ここには、図示していないが、方向10、12から照射されるスリット状ビームを同時に同一箇所に重ねて照明しても、干渉することになるが、干渉縞がy方向に対して傾くため、上記TDIセンサ205、206の積分効果により、照明強度の干渉によるばらつきを低減できる。そのため、図14に示すようにビーム3-10と3-12とが交わらないように照明する必要はない。次に、本発明に係る異物等の欠陥検査装置の第2の実施の形態について説明する。第2の実施の形態は、図15に示すように、異物等の欠陥からの散乱光強度を強めるために、検出光学系部200の光軸を垂直からβ1傾けたものである。他の構成は、図3に示す第1の実施の形態と同様である。ところで、検出光学系部200の光軸を垂直からβ1傾けた理由は、図16に示すように、検出対象の微粒子（異物）からの散乱光強度が大きくなり、検出感度が向上する。これは、照明波長に対して数分の一より大きい粒子（異物）は、前方散乱光51が大きいのにに対し、波長の1/10以下に近い表面のあれ等からの散乱光52はほぼ当方に散乱するため、前方では相対的に微粒子からの散乱光が大きくなることに起因する。この結果、回路パターン上の面あれが、検出画素内に複数個ある場合でもその総量は強度53に示すようになる。従って、前方散乱を取ることで、面あれに対して、微粒子あるいは欠陥を検出可能になる。

【0041】しかしながら、検出器205、206にTDI（Time Delay Integration）センサを用いた場合、焦点深度の関係で、検出光学系部200の光軸を傾けることができない。従って、この第2の実施の形態の場合、1次元のセンサを使用するか、検出光学系201～203を等倍あるいは数倍にして、図17に示すようにTDIセンサ205、206の傾きを次に示す（数4）式に従ってβ2に設定する。このようにすることにより全面で倍率を合わせることができる。

（数4）

向19と仮想球面との交点18を0次光として、図11（b）に示すようにパターン方向（x方向、y方向）を中心とし、照明点を頂点とする円錐の稜の方向に射出するため、仮想球面17との交点の奇跡は、この円錐の底面の円周上になる。従って、繰り返しパターンの場合、0次回折光の奇跡は、法線方向から見ると図18に示すようにx軸、y軸に平行な直線になる。特に、繰り返しパターンの場合、0次回折光の極大は、この直線群の交点22に位置する。従って、β1傾いた検出光学系200における対物レンズ201の開口20bは、図18に示すようになる。そして、この開口20bを方向14（光軸方向）から見ると、図19（a）に示すような曲線と直線の交点に0次回折光22が射出して見える。そ



ここで、空間フィルタ 202 において、図 19 (b) に示すような直線状の遮光部 207 によりこれらの回折光を遮光すると、パターンからの信号を除去できることになる。また、ウエハ 1 上の繰り返しパターンのパターン形状、ピッチが変わった場合、図 18 の射出点 18 を中心に、x、y 方向の奇跡のピッチが変わる。従って、開口 20b 内では、回折光 22 のピッチと位相が変わることになる。これらの回折光を遮光するためには、空間フィルタ 202 における直線状遮光部 207 のピッチと位相を変えればよい。以上説明したように、繰り返しパターンについては、空間フィルタ 202 によって生じる回折光を遮光することが可能となる。

【0043】次に、非繰り返しパターンの場合について説明する。非繰り返しパターンにおいても、主として x および y 方向を向いた直線パターンから形成されている。従って、方向 10 からスリット状のビーム 3 を照明した場合、図 12 と同様に、図 20 に示すように x、y 方向の 0 次回折光  $21x$ 、 $21y$  が生じることになる。ところが、検出光学系 200 の光軸が  $\beta 1$  傾けられていると、微粒子からの散乱光は大きくなるが、y 方向に出射された 0 次回折光  $21x$  が対物レンズ 201 の開口 20b 内に入ってしまうことになる。従って、非繰り返しパターンの場合においても、空間フィルタ 202 によって 0 次回折光  $21x$  を遮光する必要性が生じてくる。このように、繰り返しパターンの場合生じる回折光と非繰り返しパターンの場合の 0 次回折光パターンとが相違することになるため、空間フィルタ 202 に両方の回折光パターンを持たせる必要性が生じる。しかしながら、空間フィルタで両方の回折光パターンを遮光しようとする、該空間フィルタを透過する異物等の欠陥からの散乱光の強度が減衰し、感度が低下することになる。そこで、前述した第 1 の実施の形態のように、検出光学系 200 の光軸を垂直にして対物レンズ 201 の開口を 20a に位置付けることによって、非繰り返しパターンに対して方向 10、12 からスリット状のビーム 3 を照明したとしても、0 次回折光パターン  $21x$ 、 $21y$  が対物レンズ 201 の開口 20a 内に入射するのを防止することが可能となり、非繰り返しパターン上に存在する異物等の欠陥を検出することが可能となる。

【0044】しかしながら、前述した第 1 の実施の形態で説明したように、配線間の間の凹部に存在する異物等の欠陥を検出しようすると、図 13 に示すように、y 軸方向 11 からスリット状のビーム 3 を照明することが必要とされる。しかし、図 13 に示すように対物レンズ 201 の開口 20a には、0 次回折光  $21y'$  が入射されてしまい、空間フィルタ 202 等で遮光する必要性が生じる。でも、配線間の間の凹部に存在する異物等の欠陥の検出は、異物等の欠陥の検出の主たるものでなく、被検査対象パターンが特定されるものであるため、画像処理においても対策が可能である。以上説明した条件を次

に説明するように構成すれば満足させることが可能となる。即ち、y 軸に対して 45 度程度傾けた方向 10、12 からの照明をやめて y 軸方向 11 からのスリット状のビーム 3 で照明し、検出光学系 200 の光軸を垂直から y および x 軸方向に傾けることによって対物レンズ 201 の開口を図 21 に示す 20c の位置におくことによって、非繰り返しパターンの場合において 0 次回折光  $21x'$ 、 $21y'$  が対物レンズ 201 の開口 20c に入射するのを防止することができる。このようにすれば、空間フィルタ 202 は、繰り返しパターンから生じる回折光のみ遮光するように構成でき、空間フィルタを透過する異物等の欠陥からの散乱光の強度の低下を防ぐことが可能となる。

【0045】しかしながら、この場合、対物レンズ 201 の N. A. を小さくすることが必要となる。問題は、検出器 205、206 の焦点位置であるが、図 17 に示すように、検出器 205、206 を傾けた構成により結像全域で焦点を合わせることができる。この場合、検出器 205、206 の傾きは、 $\beta 2$  の方向だけでなく、 $\beta 2$  および方向 14 の両方に垂直な方向に同時に傾ける必要がある。さらに、検出光学系 200 では、テレセントリック光学系を用いているため、焦点位置が異なる部分で横倍率変動することはない。

【0046】次に、本発明に係る異物等の欠陥検査装置の第 3 の実施の形態について説明する。この第 3 の実施の形態は、第 1 および第 2 の実施の形態よりも劣るものである。この第 3 の実施の形態は、図 22 に示すように、回路パターンに対して 45 度の方向 10、12 から、円錐レンズ 104 を用いずに、シリンダカルレンズ 104' を用いて単にスリット状のビームの長手方向を照明方向 10、12 に向けたスリット状のビーム 3' をウエハ 1 上に照明するものである。即ち、ウエハ 1 上に形成されたチップの配列方向から 45 に近い角度だけ傾けた方向 10、12 から、照明の入射面に平行な形状のビームをウエハ 1 上に照明するものである。当然、スリット状のビーム 3' は、長手方向には平行光で形成され、幅方向には絞られたものである。なお、ウエハ 1 上にチップ 2 内に形成された繰り返しパターン、非繰り返しパターンからの回折光については、上記第 1 および第 2 の実施の形態と同様になる。この第 3 の実施の形態では、チップ比較を簡略化するために、ステージの走査方向 y は、チップに平行あるいは直角にする必要がある。さらに、この実施の形態では、TDI センサの積分方向がステージ走査方向 y と平行にならないため、検出器 205、206 として TDI センサは使えない。従って、検出器 205、206 として 1 次元のリニアセンサを使う必要がある。リニアセンサの場合、照明のビーム幅より狭いエリアからの光信号を検出することになるため、照明光を効率よく利用するため、照明ビーム 3' はセンサの像 4 に近い幅まで絞ると良い。具体的には、

たとえば、センサの画素サイズが、13ミクロン、光学系の倍率が6.5倍の場合、ウエハ上でのセンサの像は、画素サイズ2ミクロンとなる。この場合、たとえば、波長532nmのレーザを用いる場合、照明系のレンズ104'のセンサの長手方向に直角な方向の開口数

$$d = 1.22 \cdot \lambda / N.A.$$

ここで、dは、ビームの半値幅、λは照明の波長である。また、図22に示す照明方法で、センサ205、206にTDIを用いる場合、図23に示すような形状の特殊なTDIを用いる必要がある。すなわち、積分方向がφ1傾いた画素構成になっている特殊なTDIセンサとなる。

【0047】次に、異物等の欠陥検査を行う被検査対象として、パターンがない酸化膜等の絶縁膜上に存在する異物等の欠陥検査について説明する。図24には、酸化膜等の透明膜での光の散乱の状況を示す。たとえば、基板33上の酸化膜32の表面に十分小さい（照明波長の数分の1）の微粒子（異物）34が有った場合、ここからの光の波面が球面状に射出する。すなわち酸化膜側に射出すると同時に検出器側に射出する。ここで、射出した波面は酸化膜32と下地33との界面で反射する。この反射光と検出器側に射出した光が干渉により、射出方向に強弱が生じる。この結果、たとえば、方向36、37、38によって、検出出力が変わることになる。酸化膜の厚さ、屈折率に応じて、この強度分布が変化し、その結果同じ方向から検出した場合検出光の強度が変化し、感度が変わることになる。ただし、このモデルで考えた場合、照明の方向によって検出光の出力は変わらない。また、実験により照明光の入射角を変えても検出光の出力は変わらないことを確認している。しかしながら、白色照明をすると、光の干渉をなくすことができる。このため、上記第1および第2の実施の形態において、設置された白色照明光学系500は、酸化膜等の絶縁膜32上の異物を検出するためのものである。従って、絶縁膜32上の異物を検出するとき、白色光源106をONにし、レーザ光源101をOFFすればよい。また、通常の回路パターン上の異物等の欠陥を検出するときには、レーザ光源101をONにし、白色光源106をOFFすればよい。また、照明光の波長の影響を受ける被検査対象に対しては、白色照明を用いればよい。

【0048】白色照明の場合、TDIセンサの視野より大きなスポット状で照明することになる。また、照明光としてレーザ光源を用いる場合には、酸化膜32上での検出出力を安定にするためには、ウエハ表面から射出する光の大部分を検出できるような大きな開口数の対物レンズ201で検出する必要がある。また、小さな開口数の対物レンズを用いる場合には、複数の対物レンズを使用し、これらによる検出出力を積分しても良い。あるいは、照明光の波長を複数用い、これらによる検出結果を積分しても良い。ここで、異物からの散乱光の膜内での

N.A.は、次に示す（数5）式で、0.5程度にすると良い。もちろんこれは、照明の効率を上げるためのものであり、この必要がない場合は、さらに小さなN.A.であってかまわない。

（数5）

吸収（減衰）は、ほとんどないと考えて良い。異物が無い場合、射出方向は一方方向になるため、干渉により、この方向の出力は変動する。しかし、異物があり、射出方向が広がる場合、この射出方向による強度分布という形で干渉が生じるためである。

【0049】図25には、複数の方向から検出する場合の実施例の構成を示す。方向213、214、215に射出した光を検出レンズ210、211、212で結像し、それぞれ検出器213、214、215で検出する。この結果は、451、452、453でアナログデジタル（A/D）変換され、積分手段454で積分され、適当なしきい値により2値化されて検出結果となる。この検出系210、211、212は必ずしも3個である必要はなく、2つであっても良い。またここでの検出系は、図3に示す検出系200を複数（たとえば、β1=0度、β1=45度）、用いる場合も含むものである。図26には、酸化膜の膜厚を変えた場合の検出信号の変化を示す。（a）は、ある波長での強度分布48、（b）は3つの異なる波長での強度変化48、49、50を重ねて示している。この図26（b）により、複数の波長を用いその検出結果を積分することで、図26（a）に示すような強度変化が大きく低減できることが判る。この場合、検出信号強度は照明光の入射角には依存しないことが判っているため、異なる波長の照明は、入射角、あるいは、φ1を変えた方向から照明すればよい。即ち、10、11、12の方向からのスリット状のビームの波長を互いに異ならしめることによって、同一の検出光学系200により、酸化膜等の絶縁膜上の異物を示す信号を検出することが可能となる。このように、各方向からのスリット状のビームの波長を異ならしめることによって、互いに干渉しないため、同一の検出光学系200で検出することが可能となり、検出光学系を複数用意する事によるコストアップをさけることができる。また、検出光学系200は、少なくとも2つの波長で、容易に色収差（および焦点距離）を補正することができるため、2つの波長を用いる限り実現上の困難性はない。

【0050】次に、本発明に係る異物等の欠陥検査装置の第4の実施の形態について説明する。ところで、半導体素子は益々極微細化が進む一方で、歩留まりも一層向上させることが要求されている。従って、このような半導体素子を製造するための半導体ウエハ等の半導体基板には、0.3~0.2μm以下の極微細化された回路パターンが形成されている関係で、半導体基板上に存在す

る異物等の欠陥が $0.1\mu\text{m}$ 程度以下の極微小な分子もしくは原子レベルに近いものが存在しても半導体素子として動作不良の原因となる状況である。このような状況にあるため、本発明に係る異物等の欠陥検査装置では、 $0.3\sim 0.2\mu\text{m}$ 程度以下の極微細化された回路パターンが存在する半導体ウエハ等の半導体基板上に存在する極微小の異物等の欠陥を、高感度で、且つ高速で検査できることが要求されてきている。

【0051】図35には、本発明に係る異物等の欠陥検査装置の第4の実施の形態の概略構成を示した図である。図36は、その照明光学系の一実施例を示した図である。即ち、異物等の欠陥検査装置は、上記半導体ウエハ（半導体基板）等のように極微細化された回路パターンが形成された異物等の欠陥を検査する被検査対象物1を載置するステージ301、302、303と、半導体レーザ、アルゴンレーザ、YAG-SHGレーザ、エキシマレーザ等のレーザ光源等からなる照明光源101と、該照明光源（レーザ源）101から出射された高輝度の光を、斜め方向から、図37に示すように照度としてほぼガウス分布をもつスリット状のガウスビーム光束（照明領域3）107で被検査対象基板1上に照明する照明光学系102～105と、検出レンズ（対物レンズ）201、空間フィルタ202、結像レンズ203、NDフィルタ207、およびビームスプリッタ204等から構成され、検出領域4からの反射回折光（あるいは散乱光）に基いて通過して結像させる検出光学系と、TDIイメージセンサ、CCDイメージセンサ等から構成され、検出領域4に対応する受光面を有する検出器205、206と、該検出器205、206から検出される画像信号に基いて異物等の欠陥を検出する演算処理部400とによって構成される。なお、この欠陥検査装置には、被検査対象物1の表面を検出器205、206の受光面に結像させるように自動焦点制御系を備えている。

【0052】照明光源101、および照明光学系102～105の具体的構成は、図36に示すように、照明光源101から出射された例えばレーザビーム1006のビーム径を拡大させる凹レンズまたは凸レンズ102と、凹または凸レンズ102で拡大されたビームをほぼ平行な光束に変換するコリメートレンズ103と、該コリメートレンズ103で変換されたほぼ平行な光束についてy軸方向に集束して被検査対象物1上に図37に示すように照度としてほぼガウス分布をもつスリット状のガウスビーム光束（照明領域3）107で照射する円錐曲面を持つ照明レンズ（y軸方向に集束機能を有する光学系）104とで構成される。なお、凹レンズまたは凸レンズ102とコリメートレンズ103とによってビーム径を拡大するビームエキスパンダを構成する。この照明光学系102～104として、コリメートレンズ、凹レンズ、およびレシーバレンズからなるビームエキスパンダと、該ビームエキスパンダで変換されたほぼ平行

な光束についてy軸方向に集束して被検査対象物1上に図36に示すように照度としてほぼガウス分布をもつスリット状のガウスビーム光束（照明領域2）1007で照射する円錐レンズ（y軸方向に集束機能を有する光学系）104と、該円錐レンズ104で得られるスリット状ガウスビーム光束1007を反射させて被検査対象物1に対して斜め方向から照射するミラーとで構成することができる。

【0053】ところで、この構成により、凹または凸レンズ102とコリメートレンズ103との間の距離bまたは凹レンズとレシーバレンズとの間の距離を可変して設定することにより、照度としてほぼガウス分布をもったx方向の照明幅を可変して設定することができる。即ち、ビームエキスパンダーを調整することにより、照度としてほぼガウス分布をもった照明領域（スリット状の光束1007）3のx方向の長さ $L_x$ を可変して設定することができる。また、円錐レンズ104と被検査対象物1との間の距離を変えらることによって集束された照明領域（スリット状のガウスビーム光束1007）3のy方向の幅 $L_y$ を可変して設定することができる。図37に示す検出領域4は、被検査対象物1上におけるTDIイメージセンサやCCDイメージセンサによる検出領域を示す。例えば、TDIイメージセンサの場合、各画素サイズが例えば $27\mu\text{m}\times 27\mu\text{m}$ で、時間遅延積分（TDI）方向に例えば64行、TDIモードで動作するMUX方向に例えば4096列の $64\times 4096$ CCD撮像センサで構成される。即ち、TDIイメージセンサ205a、206aは、図38に示すように、ラインセンサがn（例えば64）段形成されたものである。センサから出力される情報量であるラインレートは、ラインセンサと同等であるが、ラインレート $r_t$ 毎に、蓄積された電荷がライン1、2、・・・と順々に転送されていき、被検査対象物1をy軸方向に移動させるyステージ302の送り速度を、ラインレートと同期させることにより、例えば微小異物5からの散乱光あるいは回折光に基づく光像6はラインnに到るまでの長時間にわたって蓄積されることになり、極微小な異物等の欠陥に対しても高感度で検出することが可能となる。このイメージセンサでは、基本的には微小異物等の欠陥の像がライン1からラインnに到達するまでの散乱光あるいは回折光強度の総和を検出することになるが、ライン各々に到達する被検査対象基板の同一点からの散乱光あるいは回折光は、時間的に全くインコヒーレントとなる。

【0054】以上説明したように、照明光源101より出射されたビームを照明光学系（照射光学系）102～104でスリット状のガウスビーム光束1007に変換し、この変換されたスリット状の光束1007で、ステージ301～303上の被検査対象基板1の表面に照明領域3が形成されるように例えば斜め方向から照射する。TDIイメージセンサ等から構成された検出器20

5 a、206 aは、yステージ302をy軸方向に移動させることによって被検査対象基板1をy軸方向に移動させながら、該送り速度と同期したラインレートr tで各画素に蓄積された電荷を順次転送していくことにより、検出光学系201～204で結像される被検査対象基板1上における検出領域4の光像を撮像しながら検出領域4の幅Hで走査して各画素（素子）毎に検出し、この検出される信号を演算処理部400で処理することにより上記検出領域4に存在する微小異物等の欠陥を、高感度で、且つ高速に検査をすることができる。このように、TDIイメージセンサ205 a、206 aを用いることによって、微小異物等の欠陥から生じる散乱光あるいは回折光の照度の総和（光量＝照度×時間）をとることができ、感度を向上させることができる。また、一度にスリット状のビーム光束1007を照射領域3に照射し、TDIイメージセンサ205 a、206 aのラインレートr tと同期させて被検査対象基板1をy軸方向に移動させながら、TDIイメージセンサで検出領域4について受光することによって、広い幅Hを有する検出領域4に存在する微小異物等の欠陥を、高速に検査をすることができる。

【0055】更に、0.1μm程度以下の極微小な異物等の欠陥を、高感度で、且つ高速に検査するための本発明に係る第4の実施の形態について説明する。即ち、0.1μm程度以下の極微小な異物等の欠陥を、高感度で検出しようとする、TDIイメージセンサ302 aの各画素において受光する極微小な異物等の欠陥からの散乱光あるいは回折光強度を強くする必要があると共に、被検査対象基板1上での各画素サイズを1μm×1μm程度以下にする必要がある。このように被検査対象基板1上での各画素サイズを1μm×1μm程度以下にするためには、TDIイメージセンサの各画素サイズが例えば27μm×27μmの場合、対物レンズ等の検出光学系201～204の結像倍率Mを約27倍程度以上にすればよく、実現することは可能となる。なお、TDIイメージセンサ205 a、206 aとして26×4096 CCD撮像センサで構成したものと使用すると、検出領域4はW=26μm程度以下、H=4096μm程度以下となる。また、被検査対象基板1の表面から得られる散乱光あるいは回折光による光像をTDIイメージセンサ205 a、206 aの受光面に結像させる検出光学系201～204は、対物レンズ等で構成される関係で、レンズ収差に基いてレンズの中心部（光軸2001）に比べて周辺に行くに従ってMTF（Modul a

tion Transfer Function）（正弦波パターンの像のコントラストの変化を空間周波数の関数として表わしたもの）が低下する特性を有する。そのため、図38（a）に示すTDIイメージセンサ205 a、206 aの受光面における光軸2001から最も離れてMTFが最も低下する端部（周辺）の画素205 a e、206 a e、即ち、図37に示す検出領域4の光軸2001から最も離れてMTFが最も低下する端部（周辺）に位置する極微小な異物等の欠陥からの散乱光あるいは回折光強度を強くする必要がある。

【0056】ところで、照明光源101および照明光学系102～104により被検査対象基板1の表面に照射領域3で照射されるスリット状のガウスビーム光束1007の照度は、図37に示すように、通常ガウス分布を有する関係で、検出領域4外の照明は無駄となるが照明領域3を検出領域4よりも広げて照明する必要がある。

【0057】そこで、このような状態から、本発明は、照明光源101から出射される照度を増大させずに、照明光源101から出射される光量を有効に活用し、検出領域4の光軸2001から最も離れてMTFが最も低下する端部（周辺）に位置する照度を最も増大させて、0.1μm程度以下の極微小な異物等の欠陥を、高感度で検出することにある。即ち、必要最小限の照度を出射する安価な照明光源（半導体レーザ、アルゴンレーザ、YAG-SHGレーザ、エキシマレーザ等のレーザ光源、キセノンランプ、水銀ランプ等の放電管、ハロゲンランプ等のフィラメント光源等からなる。）101を用いて、照明光学系102～104によって検出領域4の光軸2001から最も離れてMTFが最も低下する端部（周辺）に位置する照度を最も増大させて、効率の高い照明を実現することにある。

【0058】即ち、本発明は、具体的には、照明光源101および照明光学系102～104によりガウス分布の照度を有するスリット状のビーム光束1007で被検査対象基板1の照射領域3に照射する際、検出領域4の周辺部での照度が最大になるように照明光学系102～104を調整（制御）して照明の幅を決定する。ここで、スリット状のビーム光束1007の照度がガウス分布の場合、図37に示すように次に示す（数6）式になるので、照明領域の最外周で照度が最大になるのは、次に示す（数7）式のときとなる。

【0059】

【数6】

$$f(x_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2}x_0^2\right) \quad (\text{数6})$$

【0060】

【数7】

$$\frac{\partial f(x_0)}{\partial \sigma} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left(1 - \frac{x_0}{\sigma}\right) \left(1 + \frac{x_0}{\sigma}\right) \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2} x_0^2\right) \quad (\text{数7})$$

【0061】この場合、TDIイメージセンサ205 a、206 aの受光面が対応する検出領域4のx軸方向の最外周（端部）での照度 $f(x_0)$ は、中心部 $f(0)$ の約60.7%で最大となる。即ち、（数7）式において、 $x_0 = \sigma$ （ $\sigma = 1$ で、 $x_0 = 1$ ）のとき、最大値 $f(x_0) = 0.607 f(0)$ となる。なお、上記（数6）式において、 $x_0 = 0.8\sigma \sim 1.2\sigma$ （ $\sigma = 1$ で、 $x_0 = 0.8 \sim 1.2$ （ガウスビーム光束1007について照明光学系102～104による±20%程度の整形誤差を許容する。））のとき、 $f(x_0) = 0.49 f(0) \sim 0.73 f(0)$ となる。また、上記（数6）式において、 $0.8x_0 \sim 1.2x_0 = \sigma$ （ $\sigma = 0.8 \sim 1.2$ （ガウスビーム光束1007について照明光学系102～104による±20%程度の整形誤差を許容する。）で、 $x_0 = 1$ ）のとき、 $f(x_0) = 0.46 f(0) \sim 0.71 f(0)$ となる。従って、照明光学系102～104によるガウスビーム光束1007の $x_0 = \sigma$ （ $\sigma = 1$ で、 $x_0 = 1$ ）にする整形誤差として±20%程度許容すると、検出領域4において中心部（光軸2001）の照度 $f(0)$ に対する周辺部（外周部）の照度 $f(x_0)$ の比は、0.46～0.73（ $f(x_0) = 0.46 f(0) \sim 0.73 f(0)$ ）となる。なお、照明光学系102～104によるガウスビーム光束1007の $x_0 = \sigma$ （ $\sigma = 1$ で、 $x_0 = 1$ ）にする整形誤差として±10%程度許容すると、検出領域4において中心部（光軸2001）の照度 $f(0)$ に対する周辺部（外周部）の照度 $f(x_0)$ の比は、0.54～0.67（ $f(x_0) = 0.54 f(0) \sim 0.67 f(0)$ ）となる。

【0062】いずれにしても、検出領域4において中心部（光軸2001）の照度 $f(0)$ に対する周辺部（外周部）の照度 $f(x_0)$ の比が、0.46～0.73になるようにガウスビーム光束1007を照明光学系102～104によって整形することによって、照明光源101から出射されるビームを有効に活用して検出領域4の周辺部における照度を最大に近づけることが可能となる。図39に示すグラフには、照明光源101から出射される照度の総和である光量を変えずに、x軸方向の照明の幅、即ち標準偏差 $\sigma$ を変えたときの検出領域4のx軸方向の外周部（ $x_0 = 1$ ）での照度（単位面積当たりの光量） $f(x_0 = 1)$ の変化を示した。

【0063】また、図40に示すグラフには、照明光源101から出射される照度の総和である光量を変えずに、照明の幅、即ち標準偏差 $\sigma$ を $\sigma = 0.5$ 、 $\sigma = 1$ 、 $\sigma = 2$ と変えたときの検出領域4のx軸方向の座標 $x_0$ における照度（単位面積当たりの光量） $f(x_0)$ の変化を示した。これら図39および図40からも明らかなように、検出領域4のx軸方向の外周部（ $x_0 = 1$ ）にお

ける照度をほぼ最大にするためには、照明光学系102～104によるガウス分布に基づくx軸方向の照明の幅をほぼ $\sigma = 1$ （標準偏差 $\sigma = x_0$ ）になるように照明すればよいことになる。即ち、図37に示すように、検出領域4の光軸である中心からx軸方向の外周部までの長さを $x_0$ としたとき、照明光学系102～104によりほぼ標準偏差 $\sigma = x_0$ （検出領域4の光軸である中心からx軸方向の外周部までの長さ）となるガウス分布の照度を有するスリット状のビーム光束1007に整形して被検査対象基板1に対して照明領域3（ $L_x$ 、 $L_y$ は照度 $f$ が $f(0)$ の0.2以上の領域を示す。）として照明すればよいことになる。なお、実際は、検出器205、206として、TDIイメージセンサや2次元リニアイメージセンサを用いる場合、光軸2001から最も離れてMTFが最も低下する画素は、検出領域4の角部（TDIイメージセンサの場合図38に示す角部に位置する画素205 ac、206 acが対応する。）に位置するものとなるため、上記 $x_0$ として、 $\sqrt{(H/2)^2 + (W/2)^2}$ にすることが望まれる。Wを無視することができれば、 $x_0 = (H/2)$ となる。HおよびWは、被検査対象基板上における検出領域4のx軸方向の幅（長さ）およびy軸方向の幅を示す。TDIイメージセンサや2次元リニアイメージセンサにおける受光領域（撮像領域）におけるx軸方向の幅は（ $H \times M$ ）、y軸方向の幅は（ $W \times M$ ）で示されることになる。なお、Mは、結像光学系201～204による結像倍率を示す。

【0064】以上説明したように、検出領域4のx軸方向の外周部（TDIイメージセンサや2次元リニアイメージセンサを用いる場合、光軸2001から最も離れた画素）を $x_0$ （ $= \sqrt{(H/2)^2 + (W/2)^2}$ ）または（ $H/2$ ）としたとき、照明光学系102～104によりほぼ $\sigma = x_0$ となるガウス分布の照度を有するスリット状のビーム光束1007に整形して被検査対象基板1に対して照明領域3（ $L_x$ 、 $L_y$ は照度 $f$ が $f(0)$ の0.2以上の領域を示す。）として照明することによって、パワーの大きな特殊な照明光源を用いることなく、安価な通常の照明光源（半導体レーザ、アルゴンレーザ、YAG-SHGレーザ、エキシマレーザ等のレーザ光源、キセノンランプ、水銀ランプ等の放電管、ハロゲンランプ等のフィラメント光源等からなる。）101を用いて、効率の良い照明を実現でき、その結果、検出光学系201～204によってMTFが最も低下する検出器205、206の周辺部における画素によって受光する微小な異物等の欠陥からの散乱光あるいは回折光強度を強くすることができ、0.1～0.5 $\mu\text{m}$ 程度の微小異物は固より0.1 $\mu\text{m}$ 程度以下の極微小な異物等の欠陥をも、高感度で、且つ高速で（高スループット

で) 検出することができる。なお、検出領域 4 の特に x 軸方向の中央部と周辺部との間において照度が ( $f(x) = 0.46f(0) \sim 0.73f(0)$ ) の関係のように異なっている、画像処理部 400 において、被検査対象物 1 を y 軸方向に移動させて TDI イメージセンサ等の検出器 205、206 から検出される検出領域における x 軸方向の同じ画素列から得られる画像信号同志が比較されることになるので、中央部と周辺部との間における照度の相違の影響はほとんどないことになる。そして、画像処理部 400 において、被検査対象物 1 を y 軸方向に移動させて TDI イメージセンサ等の検出器 205、206 から検出される画像信号を元に、同じ回路パターンで繰り返されるチップ毎あるいはセル毎同志の差画像信号を抽出し、この抽出された差画像信号を所望の判定基準で判定することによって、異物等の欠陥を検出して検査することができる。

【0065】ここで、重要なことは、検出領域 4 の周辺部での照度 (光量) をほぼ最大にすることであって、そのための手段は、上記実施の形態では、照明光学系 102~104 で照明の幅を変えているが、他の手段、たとえば、照明光学系 102~104 によって照明の 2 次光源の形状を変える、あるいは、2 次光源を形成するフーリエ変換の位置での大きさを変える等の手段であっても良い。また、照明光源 101 として DUV (遠紫外線: Deep Ultra-violet) レーザ光源を使用するため、イメージセンサ 205、206 として DUV に対して感度のあるものを用いる必要がある。しかし、イメージセンサ 205、206 として、図 41

(a) に示す表面照射型 TDI イメージセンサを用いると、入射光がカバーガラス 805 を透過し、金属膜 802 の間のゲート 801 にある酸化膜 ( $\text{SiO}_2$ ) 803 を通過して Si 基板 804 に形成された CCD に入るため、短波長の入射光が減衰し 400 nm 以下の波長に対して感度がほとんどなく、そのままでは DUV 光の検出はできない。そこで、表面照射型イメージセンサで DUV の感度を得るためには、ゲート 801 における酸化膜 803 を薄くして短波長の減衰を少なくする方法がある。他の方法としては、カバーガラス 805 に有機薄膜コーティングを施し、DUV 光が入射されるとそれに応じて可視光を発光するようにすることで、可視光にしか感度のないイメージセンサで DUV 光を検出する方法がある。

【0066】これに対し、イメージセンサ 205、206 として、図 41 (b) に示す如く、Si 基板 804 の厚さを薄くし、この薄くした裏側から光を入射するように構成した裏面照射型 TDI イメージセンサを用いて、ゲート構造のない裏側から光を入射することによって、DVD 量子効率を 10% 程度以上にして量子効率が高くダイナミックレンジが大きくとれ、400 nm 以下の波長にも感度を有するようにすることができる。また、イ

メージセンサ 205、206 を、上記の如く、TDI (Time Delay Integration) にすることで、感度を大きくすることができる。以上説明したように、前記第 4 の実施の形態によれば、検出光学系 201~204 における光軸 2001 から離れるに従って MTF が低下するのに適合させて TDI イメージセンサ等の検出器 205、206 で検出する検出領域 4 の周辺部における照度を増大させて照明の効率向上を図ることによって安価なレーザ光源等を用いて、LSI ウエハ等の被検査対象基板上の 0.1~0.5  $\mu\text{m}$  程度の微小異物は固より 0.1  $\mu\text{m}$  程度以下の極微小な異物をも高感度で、且つ高スループットで検出することができる。また、前記第 4 の実施の形態によれば、被検査対象基板から得られるエキシマレーザ光等の UVD (遠紫外) レーザ光に基づく光像を TDI イメージセンサで受光できるようにして 0.1~0.5  $\mu\text{m}$  程度の微小異物は固より 0.1  $\mu\text{m}$  程度以下の極微小な異物をも検査することができる。

【0067】次に、本発明に係る上記第 1~第 4 の実施の形態に共通する画像処理部 400 の実施例について説明する。実際の被検査対象基板 1 である LSI 等のデバイスでは、欠陥にならないプロセスの微妙な違い、検出時のノイズ等により、検出器 205、206 から得られる検出信号にばらつきが乗ってくることになる。つまり、図 27 (a) に示すように、チップ 71、72 間の対応する画素、たとえば 73、74 の信号レベルは、同じにならず、ばらつきが生じる。具体的には、図 27 (b) に示すようなパターンの構造の違う場所 (例えばメモリ LSI の場合、メモリセル領域、周辺回路領域、その他の領域など) 75、76、77 等によって検出信号のばらつきは異なることになる。結果的に、ばらつきの小さな部分では、より小さな信号変化を生じさせる小さな欠陥を検出できるのに対し、大きなばらつきの部分では、大きな信号変化を生じさせる大きな欠陥しか検出できない。そこで、本発明に係る画像処理部 400 の特徴とするところは、チップ内の画素ごとに対応するチップ間でばらつき (標準偏差) を算出し、その値を閾値の設定に用いることにより、ばらつきの小さな領域は小さな閾値で、大きな領域は大きな閾値で異物等の欠陥の判定をして検査するようにしてた点にある。これにより、ばらつきの小さい場所 (例えばメモリ LSI の場合メモリセル領域) での閾値を、ばらつきの大きな領域に影響されることなく小さくすることができ、その結果、0.1  $\mu\text{m}$  以下の微細な異物をも検出することが可能となる。

【0068】図 28 には、画像処理部 400 の第 1 の実施例を示す。画像処理部 400 の第 1 の実施例は、TDI イメージセンサ等から構成されるイメージセンサ 205、206 から被検査対象基板 1 の y 軸方向の移動に同期して得られる列画素ごとに蓄積された濃淡値で示され



る画像信号をA/D変換するA/D変換部401、サンプリングのタイミングを取るスタートストップ指令回路416、データメモリ404、最大および最小のレベルの信号を除去する最大最小除去回路405、信号レベルsの2乗を算出する2乗算回路406、信号レベルsを算出する算出回路407、個数カウント回路408、sの2乗を積分する2乗和算回路409、sを積分する和算回路410、積分してnを求める計数回路41

1、正側閾値（上限判定基準）算出回路412、負側閾値（下限判定基準）算出回路413、データメモリ404に一時記憶された検出信号を正側閾値算出回路412で算出されて設定された正側閾値と比較して異物等の欠陥を示す信号を出力する比較回路414、データメモリ404に一時記憶された検出信号を負側閾値算出回路413で算出されて設定された負側閾値と比較して異物等の欠陥を示す信号を出力する比較回路415、上記比較回路414および415から出力される異物等の欠陥を示す信号に対して被検査対象基板1に対して設定された座標系における位置座標を付加し、更に被検査対象基板1に関する情報も付けて検出結果を出力する出力手段417より構成される。なお、上記最大最小除去回路405は、必ずしも必要としない。上記最大最小除去回路405を用いない場合、しきい値のレベルの算出において検出される全ての画像データ（異物を示す画像データも含む。）を用いることになるので、しきい値のレベルを正確かつ安定に検出できる。その反面、この作成したしきい値で、このしきい値を作成した領域の異物の検査を行なうことができなくなる。そこで、検査したい領域のしきい値は、被検査対象基板1内の別のチップ列の対応する領域で作成することが必要となる。その結果、しきい値作成と異物の検査とを別ラインにする必要が生じて、スループットが多少多めにかかることになる。特に、チップ数の少ない場合等では、複数のラインに亘る画像データを用いてしきい値を作成すると良い。この場合、スタートストップ指令手段416によりデータ取り込み位置を指定する。

【0069】また、出力手段417には、本発明に係る異物等の欠陥検査装置の全体を制御するCPUが備えられている。そして、406～411までは、チップ内の所定領域毎の背景信号のばらつき $\sigma$ を求めるためのものである。そして、求められたチップ内の所定領域毎の背景信号のばらつき $\sigma$ を元に正側閾値算出回路412と負側閾値算出回路413によって、異物等の欠陥を示す信号を抽出するための正側と負側の閾値 $Th(H)$ 、 $Th(L)$ が設定されることになる。これら406～413までが、閾値設定回路424となる。一方、データメモリ404は、閾値設定回路424によって閾値が設定されるまで、検出デジタル画像信号を一時記憶しておくためのものである。また、被検査対象基板1に対して設定された座標系における位置座標は、被検査対象基板1に設

けられた基準マークを原点にして、測長器（図示せず）によって測定されたステージの変位とTDIセンサ等の読み出し信号（走査信号）とに基づいて求められるものである。また、421は、ばらつき（標準偏差 $\sigma$ ）を示す正側閾値 $Th(H)$ （H）を例えば表示手段に表示して出力するための出力手段である。該表示手段421を設けることによって、比較回路414および415から抽出される異物等の欠陥抽出出力を見ながら、閾値がチップ内の領域毎に適切であるか否か判定することが可能となる。

【0070】ここで、検出結果出力手段417は、CRT等のディスプレイに表示するもの、ハードコピーとして印刷するもの、ハードディスク、フロッピディスク、光磁気記録媒体、光記録媒体、LSIメモリ、LSIメモリカード等に記録するもの、他の検査装置または検査システムまたは製造プロセス装置や製造ラインを管理している管理システムに接続されているネットワークも含むものである。しかも、出力手段417には、本発明に係る異物等の欠陥検査装置の全体を制御するCPUが備えられている。ここで、A/D変換器401は、TDIセンサ等の検出器205、206から出力される信号をデジタル信号で現される画素信号に変換するものである。そして、A/D変換器401は、検出信号処理系400の中の同一基板内であってもあるいは、検出光学系200内のTDIセンサ等の検出器205、206の近くであってもよい。検出器205、206の近くにおく場合は、デジタル化されるため、電送時のノイズが減る効果がある一方、信号電送ケーブル数が増えるというデメリットもある。

【0071】ここで、閾値設定回路424で行う信号処理内容について図27を用いて説明する。図27(a)には、ウエハ1上のチップ71、72等の配列例を示している。多くのLSI製造では、これらチップは、同一のものを繰り返して製造する。時として、一回の露光で複数（2から4等）のチップを同時に製造する場合もある。従って、これらチップ間の同一位置では、同一のパターンが製作されている。従って、これらのチップの対応位置の検出信号は、本来は同一である。このチップ(f,g)の中の画素(i,j)の信号をs(i,j,f,g)とする。上記のように、対応画素では、信号レベルは一致するはずである。

【0072】しかしながら、実際には、欠陥にならないプロセスの微妙な違い、検出時のノイズ等により、チップ間の対応する画素の検出信号sにばらつきが生じることになる。しかも、チップ内においても、パターンの構造が違う場所で、ばらつきが異なることになる。そこで、次に示す（数8）式に基づいて、チップの対応位置間の検出信号s((i,j,f,g)のばらつき（標準偏差 $\sigma(s,f,g)$ ）を求めて閾値 $Th(H)$ 、 $Th(L)$ を設定することになる。

$$\begin{aligned} Th(H) &= \mu(s, f, g) + m1 \cdot \sigma(s(i, j, f, g), f, g) \\ Th(L) &= \mu(s, f, g) - m1 \cdot \sigma(s(i, j, f, g), f, g) \end{aligned} \quad (\text{数 } 8)$$

ここで、 $Th(H)$  は、正側の閾値算出回路 412 で算出されて設定される閾値、 $Th(L)$  は、負側の閾値算出回路 413 で算出されて設定される閾値である。 $\mu$

( $s, f, g$ ) は、次に示す (数 9) 式に基づいて算出される信号  $s$  の  $f, g$  の値を変えた時の平均値である。

$$\mu(s, f, g) = \Sigma s / n \quad (\text{数 } 9)$$

$\Sigma s(i, j, f, g)$  は、信号レベル  $s$  を算出する算出回路 407 と  $s$  を積分する積分回路 410 とによって算出され、 $n$  は個数カウント回路 408 と計数回路 411 とによって算出される。 $\sigma(s, f, g)$  は、次に示す

(数 10) 式に基づいて算出される信号  $s$  の  $f, g$  の値を変えた時の標準偏差を示す。 $m1$  は倍率 (係数) である。

$$\sigma(s, f, g) = \sqrt{(\Sigma s^2 / n - \Sigma s / n)} \quad (\text{数 } 10)$$

$\Sigma s(i, j, f, g)^2$  は、信号レベル  $s$  の 2 乗を算出する回路 406 と  $s$  の 2 乗を積分する回路 409 とによって算出される。このように標準偏差  $\sigma(s, f, g)$  を数倍したところにしきい値を引く。倍率  $m1$  は、通常 6 程度が良いと考えられる。これは、 $6\sigma$  以上の発生確率が、 $1 \times 10$  の ( $-11$ ) 乗程度になるからである。この確率は、たとえば、 $\phi 300 \text{ mm}$  のウエハ内を画素サイズ  $2 \times 2$  ミクロンで検出した際の画像数が  $7 \times 10$  の 10 乗で有るため、このしきい値を越える値 (虚報) が統計的にウエハ全域で、1 画素未満になることから求めたものである。もちろん、この値は、必ずしも 6 にする必要のあるものではなく、本発明の効果を発揮する上では、別の値であっても良いことは言うまでもない。許容される虚報の数も 1 未満で有る必要は必ずしもないことから別の倍率が選択される可能性はある。

【0074】図 4 には、画像処理部 400 の第 2 の実施例を示す。第 1 の実施例と相違する点は、データメモリ 402 によって 1 チップの画像信号を遅延させ、差分処理回路 403 においてチップ間の画像信号に差分  $\Delta s = \{s(i, j, f, g) - s(i, j, f+1, g)\}$  を抽出することにある。従って、比較回路 414、415 においては、この差分信号  $\Delta s = \{s(i, j, f, g) - s(i, j, f+1, g)\}$  に対して次に示す (数 11) 式で示される上限閾値  $Th(H)$  と下限閾値  $Th(L)$  と比較されて異物等の欠陥を示す信号が抽出されることになる。したがって、406~413 の閾値設定回路においては、次に示す (数 11) 式に基づいて上限閾値  $Th(H)$ 、下限閾値  $Th(L)$  が設定されることになる。

$$\begin{aligned} Th(H) &= +m1 \cdot \sigma(s(i, j, f, g) - s(i, j, f+1, g), f, g) \\ Th(L) &= -m1 \cdot \sigma(s(i, j, f, g) - s(i, j, f+1, g), f, g) \end{aligned} \quad (\text{数 } 11)$$

なお、この場合、隣接チップの差画像の標準偏差  $\sigma(\Delta s, f, g)$  は、次に示す (数 12) 式に基いて算出される。 $\Sigma \Delta s$  は、信号レベル  $\Delta s$  を算出する算出回路 407 と  $\Delta s$  を積分する積分回路 410 とによって算出さ

$$\sigma(\Delta s, f, g) = \sqrt{(\Sigma \Delta s^2 / n - \Sigma \Delta s / n)} \quad (\text{数 } 12)$$

このように隣接チップの差画像  $\Delta s$  を用いることで、チップ内において検出画像信号に分布を有していても、標準偏差  $\sigma$  が小さくなり、より高感度の異物等の欠陥検査が可能となる。

【0076】また、たとえば、ウエハ内で、中心から周囲に向かって段階的にプロセス条件が異なった場合、ウエハ面内の信号レベルは中心から周囲に向かって段階的に変化する。この結果、(数 8) 式による閾値の算出では、ばらつき (標準偏差  $\sigma(s, f, g)$ ) が大きく算出

$$Th = m1 \cdot \sigma(|s(i, j, f, g) - s(i, j, f+1, g)|, f, g) \quad (\text{数 } 13)$$

ここで、 $|\Delta s|$  は、差分信号  $\Delta s$  の絶対値を意味する。この場合、図 29 および図 30 に示す差分処理回路を、隣接チップの差画像の絶対値  $|\Delta s|$  を取る絶対値差分処理回路 403 とすることになる。また、閾値算出回路 423 は、閾値の絶対値  $Th$  が算出されて設定されることになる。また、比較回路 414 において、差分の絶

れ、 $n$  は個数カウント回路 408 と計数回路 411 とによって算出される。 $\Sigma \Delta s^2$  は、信号レベル  $\Delta s$  の 2 乗を算出する 2 乗算出回路 406 と  $\Delta s$  の 2 乗を積分する 2 乗積分回路 409 とによって算出される。

されることになる。このような場合、隣接チップ間のみの信号差のばらつき (標準偏差  $\sigma(\Delta s, f, g)$ ) は、実際には (数 8) 式ほど大きくなく、現実にはさらに小さなしきい値で検出可能である。そこで、(数 11) 式および (数 12) 式のように差分値  $\Delta s$  に基いて算出する事により、より低いレベルのしきい値を引くことを可能とするものである。また、この手法の改善手法として、閾値を次に示す (数 13) 式で、算出しても良い。

対値と閾値  $Th$  とが比較されて異物等の欠陥の信号が抽出されることになる。

【0077】なお、この場合、隣接チップの差画像の標準偏差  $\sigma(|\Delta s|, f, g)$  は、次に示す (数 14) 式に基いて算出される。 $\Sigma |\Delta s|$  は、信号レベル  $|\Delta s|$  を算出する算出回路 407 と  $|\Delta s|$  を積分する積分



回路410とによって算出される。

$$\sigma(|\Delta s|, f, g) = \sqrt{(\Sigma \Delta s^2 / n - \Sigma |\Delta s| / n)} \quad (\text{数14})$$

ところで、図30に示す第4の実施例は、図29に示す第3の実施例に対して、メモリ位置コントローラ422を付加したものである。このメモリ位置コントローラ422は、検出信号sまたは差分信号Δsに対するウエハ上の座標を指定するものである。即ち、標準偏差σを求めるチップ間の画素をウエハ上の座標を基に任意に指定することができる。また、ウエハ上の座標を任意に指定することができることから、チップ間の着目画素の周辺同志から標準偏差σを求めることも可能となる。図29に示す第3の実施例では、ウエハ上の位置座標は、信号数のカウント結果から算出されている。この場合、標準偏差σを求めるチップが横一列に並んでいる場合はよいが、2列のチップの対応点から標準偏差を求めることができない。

【0078】そこで、第3の実施例のように、メモリ位置コントローラ422が、ステージコントローラ305から得られるステージ座標系等の信号から、流れてきている検出信号sまたは差分信号Δsの位置座標を算出し、その算出された結果を、メモリ機能を有する2乗和算出回路409、和算出回路410、および計数回路411に提供することにより、信号の格納先、つまり検出信号の座標上に格納する。この構成により、ウエハ周辺で、一列でチップ数が少ない場合にも標準偏差算出のサンプル数を増やすことができ、閾値算出回路423において安定した閾値算出が可能となる。

【0079】以上説明したように、差分処理回路403において差分の絶対値にすれば、符号を持たないため、メモリ404などの容量を低減できる効果がある。また、絶対値を算出した結果から、算出された標準偏差σは差分値からの算出結果より小さく算出され、発生確率を1×10の(-11)乗にするためには、すなわち正規分布上で6σにするためには、約1.66倍大きな倍率である約10倍する必要がある。σが差分値からの算出より0.6倍に小さく算出されると考えても良い。またこの手法では、信号レベルsに対する閾値が残らないため、プロセス管理、不良解析上問題になる。そこで、図29および図30に示すようにチップ内の位置(i, j)の閾値のレベルをしきい値マップとして算出する回路を有する。この回路において、しきい値マップは、閾値算出回路423において(数14)式に基いて得られる標準偏差σ×m1(倍率)、および平均値算出回路425において算出される差分信号の絶対値の平均値Σ|Δs|/nを用い、検出画像信号sまたは差分信号Δsに対する閾値算出回路418によりこれらの値の和((m1×σ)+Σ|Δs|/n)を求めることで算出される。この結果は、ステージ301, 302およびセンサ205, 206の位置から算出される位置データ(i, j)に応じて、チップ全域の各画素(i, j)に対応す

るメモリを持つ閾値マップ格納手段419内に格納され、閾値マップ出力手段(表示手段等)421によりユーザの必要に応じて表示などして出力される。また、表示手段421において、比較回路414から抽出される異物等の欠陥出力と閾値マップとを表示して閾値が適切であるかどうかを判定することができる。また、閾値マップの情報を出力手段417に提供することによって、比較回路414から抽出される異物等の欠陥出力と閾値マップとを出力することが可能となる。

【0080】この閾値レベルは、下地の状況に関連しているため、たとえば下地が、繰り返しパターンなのか、面あれのひどいエリアなのか、膜厚の薄いエリアなのか、パターン寸法の小さいエリアなのかといった情報と対応する。従って、検出した異物が、どのレベルの閾値に対して検出されたかを分析することは重要である。従って、たとえば、検出異物データとして、異物信号レベルに付加する形で、その異物があつた位置の閾値を表示手段421に表示するなどして出力することは意味のあることである。このためには、ここで算出された閾値マップが必要となる。

【0081】ちなみに、異物の信号レベルsは、(差分値+閾値)ではなく、差分値Δsがこれに当たると考えられる。

【0082】また、異物が検出された位置の下地データとしては、上記の閾値のレベルだけでなく、あらかじめ、設計データから求められた、たとえば、チップ内の領域(メモリエリア、論理回路エリア、電源供給エリア、配線の無いエリア等)の情報で有っても良い。このためには、設計データから算出されたチップ内のエリアマップを作成し、このチップ内の座標から閾値データのように異物表示時にコード化してあるいは、言葉として表示などして出力しても良い。また、上記いずれもの下地データは、下地データごとの異物マップ、下地データごとの異物数という形で、表示などして出力しても良い。以上、本発明の基本思想は、信号のばらつきの大きさを求め、この求められた信号のばらつきの大きさに応じてしきい値を決定するものであり、あらかじめ、数チップのデータを取り込んで、その値からチップ内の各画素ごとに閾値設定回路424で閾値を算出してもよい。この際この算出は、同一品種のLSIの同一工程であらかじめ算出し、その結果を、検査時に閾値設定回路424内の閾値メモリに読み込んで、比較回路414、415において順次入ってくる信号レベルと比較する構成であっても良い。また、このしきい値算出用のデータを、ロット(13枚から25枚のウエハ)ごとに1回算出しても良いし、ウエハごとに算出しても良い。

【0083】なお、本発明では、上記に説明したようにしきい値レベルが下地の状態が変わるため、しきい値レ

ベルは下地の状態を示していることになる。つまり、出力手段 417 である CPU は、異物等の欠陥を示す信号を、しきい値マップ格納手段 419 から得られるしきい値レベルで分類すると、異物等の欠陥がどのような下地上に付着・存在していたかを知ることができる。この下地の状態とは、例えばパターンがない領域、セル部の領域、周辺パターン部等の分類ができることになる。また、出力手段 417 である CPU に対して、CAD システム等から、ネットワークや記憶媒体等で構成された入力手段 426 を用いて入力された CAD 情報に基いて得られる図 1 あるいは図 2 に示したようなチップ内の領域データを用いれば、さらに直接的に、異物等の欠陥が存在した下地の状態を知ることができる。ここで、領域データを使わずに、上記の下地の信号レベル（しきい値レベル）から下地の状態を類推する手法は、事前に、チップ内の領域を設定しなくても良いという効果がある。この場合、CPU 417 は、一度、チップ全域のしきい値レベルをしきい値マップ格納手段 419 に格納されたしきい値マップより求め、そのしきい値レベルの大小から、下地のレベルを領域（例えばセル部等）として分類することができる。ここで、このしきい値レベルからの領域判定は、隣接チップ間の差分  $\Delta s$  を用いた場合でも、信号レベルそのものから算出した場合でも可能であ

$$\sigma(\Delta s, f, g) = \sqrt{(\sum \Delta s^2 / 8 - \sum \Delta s / 8)} \quad (\text{数 } 15)$$

そして、比較手段 414、415 において、設定された閾値  $Th(H)$ 、 $Th(L)$  と先のウインドウの中央の値  $(\Delta s(i, j, f, g))$  と比較することにより異物等の欠陥を抽出する。ここでのウインドウサイズは、必ずしも図示したような  $3 \times 3$  である必要はなく、 $4 \times 4$ 、 $5 \times 5$ 、 $7 \times 7$  等他の大きさであってもよく、あるいは複数のウインドウサイズに対して算出するように構成してもよい。また、被検査対象は中央の値である必要はなく、ウインドウ内のいずれか、あるいは複数の画素の平均、和等と比較してもよい。ウインドウサイズは、検出すべき異物サイズ、あるいは背景パターンのパターン形状に応じて決定されるべきものである。

【0086】次に、演算処理部 400 の絶対感度の閾値を設けた場合の第 6 の実施例について説明する。上記

$$s s' = s s / (P1 \cdot ND \cdot k \cdot r b \cdot k(t)) \quad (\text{数 } 16)$$

この様にして算出された補正信号レベル  $s s'$  を用い、あらかじめ求めた信号レベル  $s s$  と異物・欠陥サイズ  $d$  との対応関数  $d f(s s')$  により、異物サイズ  $d$  を表示

$$d = d f(s s') \quad (\text{数 } 17)$$

ここで、特に異物が小さい場合、Mie 散乱の理論を用い、補正された信号レベル  $s s'$  が、異物サイズ  $d$  の 6 乗に比例するという関係を用いても良い。

【0088】次に、演算処理回路 400 において、微小異物はもとより、広がりをもった大きな異物についても高  $S/N$  比で欠陥判定する実施例について説明する。ところで、演算処理回路 400 の欠陥判定する比較回路 4

る。このように、CPU 417 は、下地状態を知った上で、例えば、セル部上の異物あるいは欠陥のみを検出し、出力し、管理することができる。

【0084】次に、演算処理回路 400 の第 5 の実施例について、図 31 を用いて説明する。即ち、第 5 の実施例は、隣接チップのデータ（検出信号  $s$ ）の差分値  $\Delta s$  を算出した後、対象画素の周囲のデータのばらつき（標準偏差  $\sigma(\Delta s, f, g)$ ）を求めるものである。この第 5 の実施例は、遅延メモリ 425、426、およびウインドウ切り出し回路 427 により構成され、いわゆるパイプライン処理系を用いて構成される。406~413 によりウインドウの中央の値  $(\Delta s(i, j, f, g))$  を除いた周辺画素の値  $(\Delta s(i+1, j+1, f, g))$ 、 $\Delta s(i+1, j, f, g)$ 、 $\Delta s(i+1, j-1, f, g)$ 、 $\Delta s(i, j-1, f, g)$ 、 $\Delta s(i-1, j-1, f, g)$ 、 $\Delta s(i-1, j, f, g)$ 、 $\Delta s(i-1, j+1, f, g)$ 、 $\Delta s(i, j+1, f, g)$ ）により次に示す（数 15）式に基いてばらつき  $\sigma(\Delta s, f, g)$  を算出し、この算出された  $\sigma$  を基に閾値  $Th(H)$ 、 $Th(L)$  を算出して設定する。

【0085】

（数 13）式に基いて絶対感度の閾値をもうけることにより、LSI 製造工程での異物あるいは欠陥の管理サイズを、工程間で同一にできる。検出信号処理回路 400 で検出された検出結果（異物の座標、信号レベル（差分レベル））の内、CPU 417 において、信号レベル（差分値  $s s$  が望ましい）に対して、いずれのレベルなのかを補正する。具体的には、検査時の、レーザパワー  $P1$ 、ND フィルターの値  $ND(\%)$ 、偏光板の有無  $k$ （有りの場合 1、無しの場合 10 程度が望ましい）、下地の反射率  $r b$ 、酸化膜の厚さによる補正係数  $k(t)$  として、以下の（数 16）式により補正された信号レベル  $s s'$  を用いると良い。尚、レーザパワーは、照明位置で分布（いわゆるシェーディング）を持つためこの分布  $P1(x)$  を用いるとさらによい。

手段 421 により表示することができる。

【0087】

14、415 では、必ずしも微小異物だけではなく、大きなあるいは数ミクロンの範囲に広がった薄膜状の異物を見逃しすることなく検出する必要がある。しかし、この大異物からは、必ずしも、検出信号レベルとしては大きくならないために、画素単位の検出信号では、 $S/N$  が低く、見逃しが生じることになる。そこで、1 画素平均の検出信号レベルを  $S$  とし、平均のばらつきを  $\sigma/n$

とすると、大異物の大きさに相当する $n$ 画素 $\times n$ 画素の単位で切出して畳み込み演算をすることによって、検出信号レベルは $n^2S$ となり、ばらつきは $n\sigma$ となり、 $S/N$ 比は、 $nS/\sigma$ となる。他方、大異物について1画素単位で検出しようとする、検出信号レベルは $S$ となり、ばらつきは $\sigma$ となり、 $S/N$ 比は、 $S/\sigma$ となる。従って、大異物の大きさに相当する $n$ 画素 $\times n$ 画素の単位で切出して畳み込み演算をすることによって、 $S/N$ 比は、 $n$ 倍向上させることができる。1画素単位程度の微小異物については、1画素単位で検出される検出信号レベルは $S$ となり、ばらつきは $\sigma$ となり、 $S/N$ 比は、 $S/\sigma$ となる。仮に、1画素単位程度の微小異物について $n$ 画素 $\times n$ 画素の単位で切出して畳み込み演算をすると、検出信号レベルは $S/n^2$ となり、ばらつきは $n\sigma$ となり、 $S/N$ 比は、 $S/n\sigma$ となる。従って、1画素単位程度の微小異物については、画素単位の信号そのまの方が、 $S/N$ 比として向上が図れる。

【0089】以上説明したことから明らかなように、図52に示すように、画像メモリ404から得られる画像信号を、欠陥判定のための画素単位のサイズを変えた複数のオペレータ520（例えば、1画素単位のオペレータ521、 $3\times 3$ 画素の単位で切出すオペレータ522、 $4\times 4$ 画素の単位で切出すオペレータ523、 $5\times 5$ 画素の単位で切出すオペレータ524、 $n\times n$ 画素の単位で切出すオペレータ525等から構成される。）の各々において切出し、切出された各オペレータにおいて畳み込み演算を施して1画素平均の検出信号レベルを $S$ としたとき、 $S$ 、 $9S$ 、 $16S$ 、 $25S$ 、 $n^2S$ のレベルの階調信号が中央の画素から出力されることになる。他方、掛け算回路541、542、543、544の各々は、閾値設定回路424の閾値回路423から得られるしきい値（ $m1\cdot\sigma$ ）を、3倍、4倍、5倍、 $n$ 倍する。この近似的しきい値係数3、4、5、 $n$ は、中心極限定理より推定される。そして、比較回路414'を構成する比較回路531、532、533、534、535の各々において、各オペレータにおいて畳み込み演算が施された階調信号と、しきい値（ $m1\cdot\sigma$ ）に対して3倍、4倍、5倍、 $n$ 倍されたしきい値と比較されて欠陥判定が行なわれ、異物を示す信号が出力されることになる。即ち、1画素単位程度の微小異物については比較回路531から、 $3\times 3$ 画素単位程度の大きさの異物については比較回路532から、 $4\times 4$ 画素単位程度の大きさの異物については比較回路533から、 $5\times 5$ 画素単位程度の大きさの異物については比較回路534から、 $n\times n$ 画素単位程度の大きさの異物については比較回路535から検出されることになる。従って、論理和回路550で比較回路531～535の各々から検出される異物を示す信号の論理和をとることによって、様々な大きさを有する異物を示す信号が高い $S/N$ 比でもって検出され、検出信号レベルとしては小さく、しかも広

がりを持った大きな異物についても捕捉率を向上させることができる。

【0090】なお、差分処理回路403'の後に、上記のように欠陥判定のための画素単位のサイズを変更できるオペレータを備え、画素単位のサイズを変更する都度、画素信号を積分して出力するようにすれば、比較回路414'からは、変更した画素単位のサイズに合った大きさの異物を示す信号が検出されることになる。しかし、この場合、画素単位のサイズを変更する複数回数検査することが必要となるが、しきい値としては正確な値が設定されることになる。また、差分処理回路403'の後に、欠陥判定のための画素単位のサイズを変更できる複数のオペレータを備える場合には、画像メモリ404の記憶容量が複数倍必要とする。また、閾値設定回路424としては、複数設けてもよく、また閾値設定回路424の閾値回路423から得られるしきい値（ $m1\cdot\sigma$ ）に対して近似的しきい値係数を掛けてしきい値を求めてもよい。以上説明したように、比較回路414'において、矩形関数を畳み込むもしくは積分する欠陥判定のための画素単位のサイズを、検出したい異物のサイズに合わせることによって、検出信号レベルとしては小さく、しかも広がりを持った大きな異物を正確に捕捉することが可能となる。

【0091】次に、本発明に係る異物等の欠陥検査装置における条件だし手法についての実施例について図42～図46を用いて説明する。即ち、本発明に係る異物等の欠陥検査装置は、図42に示すような条件出しのシーケンスを持っていて、このシーケンスで作られた検査条件により、検査が実行される。即ち、CPU417は、ステップS41において、表示手段421に、図43に示すような各種モード選択用の画面を表示し、キーボードやマウス等の入力手段426を用いてウエハ内のチップマトリックス（チップの大きさ、チップの開始点座標、およびチップがない等のチップ配列のデータ）S411、条件だしモード（a. エリア優先、b. 標準、c. 感度優先、d. 感度表示後選択）S412、しきい値事前選択（a.  $m1=6$ ：虚報発生確率00%、b.  $m1=10$ ：虚報発生確率00%、c.  $m1=15$ ：虚報発生確率00%）S413等のモードを選択する。条件だしモードS411において、a. エリア優先とは、例えば照明光のパワーを弱くすることにより、標準モードよりも広い面積で比較的大きな異物が検査できる検査条件モードである。背景レベルが飽和した領域は、実質的に非検査領域になってしまうわけだが、エリア優先とは、非検査領域の面積を例えば5%以下に設定されればよい。図45においては、エリア優先は、全ての面積から2.5 $\mu m$ 程度の異物が検査できる場合を示している。

【0092】b. 標準とは、標準の感度で異物を検査できる検査条件モードである。図45においては、標準

は、全体の検査面積の90%程度から1.0 $\mu$ m程度の異物が検査でき、しかも0.2 $\mu$ m程度の異物まで検査できる標準モードを示している。

【0093】c. 感度優先とは、標準モードより微小な異物を検出できるように感度を高くするように設定したモードか、あるいは指定した検出感度を確保できるように設定された検査条件モードである。図45においては、感度優先は、検出全体の検査面積の75%程度から0.5 $\mu$ m程度の異物が検査でき、しかも0.1 $\mu$ mまでの異物の検査ができるモードを示している。具体的には、照明光のパワーを上げることにより、検出サイズ指定で指定された異物より小さな異物（図45においては、0.1 $\mu$ m程度）を検出できるような検査条件、あるいは指定した検出感度（図45においては、0.5 $\mu$ m程度の異物が検査面積で75%以上）を確保できるレベルに照明光のパワーを設定する。

【0094】d. 感度表示後選択とは、上記3つのモードでの検査結果、あるいはチップ内のしきい値マップ、あるいは異物のサイズ（しきい値に対応する感度）と検査面積（しきい値ヒストグラム）との関係を表示し、適当なものを選択するモードである。エリア優先が照明光のパワーを最も弱めてダイナミックレンジを高め、標準、感度優先に行くに従って、照明光のパワーを強めてダイナミックレンジを低くしていくことになる。従って、しきい値マップにおいて、エリア優先モードの場合には、異物が検出できない非検査領域は少ないが、0.5 $\mu$ m程度までの異物しか検査することができない。標準モードの場合には、図45に白で表示された異物が検出できない飽和する非検査領域は多くなるが、0.2 $\mu$ m程度の異物まで検査できることになる。感度優先モードの場合では、図45に白で表示された異物が検出できない飽和する非検査領域は更に増大することになるが、0.1 $\mu$ m程度の異物まで検査できることになる。なお、しきい値ヒストグラムには、感度に対する面積比率471とその積分値472とを示していて、何れの値を表示してもよい。しきい値事前設定の選択は、表示された虚報の発生確率（発生頻度）00%を見て許容する虚報の発生確率から行なうことができる。即ち、前記した如く、しきい値が検出画像のレベルのばらつき $\sigma$ から設定されるので、倍率m1に応じて虚報の発生確率00%を統計理論に基いて自動的に算出して表示することが可能となる。これにより、虚報の発生確率に応じた倍率m1、即ちしきい値設定が容易に行なうことができる。

【0095】次に、CPU417は、ステップS42において、選択されたウエハ内の回路パターン構造に応じた空間フィルタ202を手動または自動で設定し、ステップS43において、図46に示すように、該空間フィルタ202の像をフィルタ位置にピントを合わせた結像光学系227およびTVカメラ228による像により目視観察または自動で確認を行ない、NOの場合にはス

ップS42に戻って再度空間フィルタ202の設定を行ない、YESの場合には次のステップへ進む。空間フィルタ202としては、遮光パターンの位相とピッチとを変えられるように構成される。なお、図46に示すように、ハーフミラー226、結像レンズ227、およびTVカメラ228から構成された空間フィルタ観察光学系と、ビームスプリッタ204とを一体に構成したもの225を、矢印230で示すように切替え可能に構成する。即ち、通常異物を検出する場合には、ビームスプリッタ204を検出光軸に位置付け、空間フィルタ観察時にはハーフミラー226を検出光軸に位置付けるように切替えることになる。そして、自動の場合には、図19(b)に示すと同様に開口20a内に検出される遮光パターンおよび回折光をTVカメラ228によって撮像することによって、遮光パターンの位相とピッチとを回折光を遮光するように合わせることができる。また、TVカメラ228の位置を矢印229で示すようにずらすことによって、被検査対象基板における回路パターンの像も観察して遮光パターンの方向性についても合わせることができる。

【0096】次に、CPU417は、ステップS44において、しきい値Thを設定するための標準偏差 $\sigma$ に対する倍率（係数）m1を6～15程度の範囲で入力手段426を用いて入力することにより設定する。次に、CPU417は、ステップS45において、入力手段426を用いて異物の検出サイズを入力することにより、検出サイズの指定S451が行なわれ、この指定されたサイズの異物が検出可能なレーザパワーを算出し、この算出されたレーザパワーになるようにレーザ光源101を制御信号430によって制御することによって設定される。次に、CPU417は、ステップS46において、チップの一部あるいは全域のしきい値を作成するために、ウエハ上を走査・検査し、閾値算出手段418で算出されたしきい値マップをしきい値マップ格納手段419に格納し、図44および図45に示すしきい値マップ（しきい値画像）、あるいはしきい値ヒストグラム（感度（例えば横軸）とその感度を持つ検査面積との関係）、あるいはこのヒストグラムを積分した形で表示したもの（図45）を、表示手段421に表示し、該表示されたしきい値マップ等に基づいてしきい値が所望のレベル（検出したい異物サイズ）にあるかどうかの感度を確認し、NOの場合にはステップS45に戻って再度検出サイズの指定を行ない、YESの場合には、次のステップに進むことになる。

【0097】次に、CPU417は、ステップS47において、ウエハ全域を検査し、一部に虚報が出てくる領域があれば、場合によっては、この領域を非検査領域（インヒビット領域）として、チップ内のCAD情報またはしきい値マップの情報に基づいて設定する。その後、ステップS48において、CPU417からの指令

に基づいて、被検査対象基板1に対して異物等の検査を行い、演算処理回路400において、異物等の欠陥と判断された場合には、その検出信号レベルと検出座標とが記憶装置427に格納されることになる。次に、ステップS49において、最終的に、上記異物検査装置と並設される共焦点顕微鏡もしくは紫外線顕微鏡等から構成される光学観察顕微鏡700を用いて実際の被検査対象基板1を光学的に観察し、異物などの欠陥なのか虚報なのか否かの確認を実施する。この確認によって、初めて、条件だしが最適に設定できていたか否かの確認をすることができることになる。特に、被検査対象基板1上のチップ内には、微細な複雑な回路パターンが存在する部分や色むらが発生する部分が混在することになり、光学観察顕微鏡700を用いて条件だしの最終確認をする必要がある。そして、ステップS49における虚報確認において、NOの場合には、ステップS50において、場合によって、しきい値設定用の倍率（係数）m1を増加、減少させてステップS45に戻り、必要に応じてレーザーパワーを変える。YESの場合には、条件だしが完了する。

【0098】ここで、上記手順は、一部を割愛しても、あるいは順序を入れ替えても目的を達成することができる。以上説明したように、所望の検出したい異物サイズ（感度）に対する最適な条件だしの設定を容易に、且つ短時間で行なうことができる。なお、ステップS49における光学観察は、ステージ301、302を動かすことにより、図46に示す光学観察顕微鏡700の検出光学系701の位置に、被検査対象物1上の検出した異物（虚報も含む）を移動させ、この画像を観察するものである。本発明の検出系200では、高解像度の結像光学系を有しているため、この移動の際の座標精度が高いため（特に暗視野照明系102～105では、検出光学系200の解像限界よりも小さな異物を検出可能なため）、通常の顕微鏡では、観察できない場合が多い。そこで、この光学観察顕微鏡700は、極めて解像度の高い、例えば共焦点光学系、あるいは照明波長の短い（例えば、248nm、365nm、266nm、あるいはこれらの近辺の波長、紫外線あるいは遠紫外線）の照明を有する光学系で有ることが望ましい。即ち、光学観察光学系700は、このように、200nm前後の波長の画像では、電子線顕微鏡画像に近い画像が得られ、異物等の欠陥サイズを高精度に求めたり、異物等の欠陥の形状などを分類することも可能なる。なお、図46には、光学観察顕微鏡700の構成を示す。明視野あるいは暗視野紫外線照射光学系と図41に示す紫外線検知可能なTDIセンサとを有する検出光学系701と、該検出光学系701のTDIセンサから検出される画像をA/D変換などを行なう画像処理系702と、該画像処理系702でA/D変換された画像を、演算処理回路400から検出された異物（虚報と思われるもの）の座標データ

に基づくアドレスに記憶する画像メモリ704と、画像を表示する表示手段703とで構成される。従って、演算処理回路400から検出された異物（虚報と思われるもの）の座標データに基づいてステージ301、302が制御され、虚報と思われる画像を表示手段703に表示して観察することによって、光学観察顕微鏡700による虚報の確認をすることができる。即ち、記憶装置427に格納された検出座標の位置を、光学観察顕微鏡700の視野内にステージ301、302を移動し、光学観察顕微鏡700により視野内の画像を検出して表示手段703に表示、もしくは画像メモリ704に数値画像データとして格納する。このデータは、必要なときに再度表示することもできる。また、画像メモリ704に格納されたデータは、演算処理回路400のCPU417に提供することを可能にし、他の異物検査装置から転送された画像データと共に後で観察することができる。何れにしても、光学観察顕微鏡700としては、上記高解像度を有する明視野顕微鏡視や、上記照明光学系100を持つ暗視野顕微鏡や、インコヒーレント照明を持つ暗視野顕微鏡や、位相差顕微鏡や、共焦点顕微鏡でもかまわない。

【0099】また、上記条件だしにおいて、ステップS41におけるチップマトリックスと、ステップS45における検査したい異物サイズとを入力して設定するだけで、条件だしを完了させることができる。すなわち、チップマトリックスと異物サイズ（異物サイズに応じた感度でも良い。）の入力設定は、条件だしにおける必須設定条件である。また、ステップS43におけるフィルタ確認、ステップS44における倍率m1の設定、ステップS46における感度確認、ステップS47におけるインヒビット（非検査領域）の設定、およびステップS49における虚報確認は、オプション設定条件である。また、しきい値設定において、安定側のしきい値（大きなしきい値）でを使用することにより虚報の発生を抑えることができ、逆に、しきい値を小さくすることにより多少の虚報は出ても、高感度の異物を検査することができる。前者は、ウエハの処理装置の品質管理（異常になったことを見つける。）に向き、後者は、不良欠陥の発生状況を解析（不良発生原因の究明のための異物欠陥の分類）するのに向く。

【0100】次に、イメージセンサ205、206から検出され、A/D変換器401でA/D変換されて画像メモリ404に記憶される散乱光画像からCPU417が行なう異物粒径推定について、図47を用いて説明する。即ち、散乱光の信号レベル（差分値ssが望ましい）は、散乱光を発生する粒子あるいは傷等の大きさに対応している。従って、CPU417は、レーザーパワー、検査時の偏光板208、空間フィルタ202、照明の角度φ1、α1等の条件に応じて算出される補正係数k(t)を検出信号ssに乗じることにより、補正され



た検出信号  $s s'$  を、異物あるいは欠陥のサイズ  $d$  に対応付けすることができる。そこで、CPU 417 は、このように求めた異物あるいは欠陥のサイズ情報を上記条件だしにおいてステップ S 45 における検出サイズ指定に用いることができる。また、図 47 に示すように TDI イメージセンサ 205 a、206 a によって検出されて画像メモリ 404 に記憶される検出画像における異物を示す画像の大きさ（異物の像の広がりを示す画素数）と異物の大きさには一定の傾向が見られるので、CPU 417 が画像メモリ 404 に記憶された検出画像から異物を示す画素数を計数することによって異物粒径を対応付けすることが可能となる。特に、異物の大きさが  $0.13 \mu\text{m} \sim 0.2 \mu\text{m}$  程度においても、異物を示す画像の大きさと相関が有ることに見出すことができ、異物の大きさ（粒径）を推定することが可能となる。また、一つの画素内に入る異物サイズであり、且つ信号レベルがイメージセンサ 205、206 のダイナミックレンジを越えるような場合には、以下のような方法で異物サイズを推定することができる。即ち、一つの画素に入る場合であっても、図 48 (a) に示すように、広がりを持って結像されるため、この広がり部分の立ち上がりとしち下りの幅（あるしきい値の幅  $W$ ）からピークレベル、即ちダイナミックレンジを越えた信号強度を推定することができる。この場合、図 48 (b) に示すように、イメージセンサ 205、206 のカバーガラス 220 を特定の表面粗さにすることで、カバーガラス 220 の表面で散乱を生じさせ、強制的に広がりを作ることで、更に検出画像から異物サイズの推定を容易にすることができる。

【0101】次に、本発明に係る異物検査装置による複数の検査について説明する。即ち、複数の検査は、例えばダイナミックレンジを稼ぐために、エリア優先、標準、感度優先などのように照明光のパワーを大きくした条件と標準の条件と小さくした条件で、被検査対象基板 1 の表面を検査し、その結果を検査欠陥として CPU 417 は出力するものである。CPU 417 は、上記複数の検査結果を単純に統合して検査結果マップ（検査結果マップとは、被検査対象基板 1 内において異物等の欠陥が検出された位置座標に欠陥のマークをプロットとした図面。）を出力することができる。また、CPU 417 は、マップでなく、異物の座標リスト、あるいは異物の検出信号レベル等を示すリストやマップでもよい。また、複数の検査としては、ダイナミックレンジを稼ぐためだけではなく、より微細な傷や異物等の欠陥を検出できるように、例えばステージ 301、302 の走行時間を変えたものでもよい。更には、照明光学系 100 による照明方向  $\alpha 1$ 、 $\phi 1$ （ゼロも含む）、 $\phi 2$ （ゼロも含む）の条件、偏光板 208 の有無、白色照明 500 とレーザ照明 100 とを用いる条件等を変えたのもであってもよい。

【0102】また、CPU 417 における処理方法も、複数の検査条件で検査した欠陥の補正された検出信号レベル  $s s'$  を、各次元（照明光のパワー、照明方向、偏光板の有無、白色照明とレーザ照明）の空間にマッピングして、空間内における距離からクラス分けした（分類した）結果であっても良い。例えば、図 49 に示すように、 $x$  軸に、レーザ照明系 100 による検出信号レベル  $s s'$  を、 $y$  軸に、別の照明系（白色照明系 500 や図 50 に示す照明系とがある。）による検出信号レベル  $s s'$  をプロットする。これにより、予め設定した直線  $y = \beta x$  によって、これらのプロットの位置を 2 つの領域に分類することができる。そして、この分類結果は、異物の特徴を示すことになる。別の照明系として、図 50 に示す照明系を用いる場合には、 $y > \beta x$  の領域にプロットされた異物等の欠陥は、斜方照明でさほど光らない傷や平坦な異物 491 であり、 $y < \beta x$  の領域にプロットされた異物等の欠陥は比較的高さのある異物 492 であることが実験によって確認されている。ここで、この境界線は、上記の直線である必要はなく、任意の曲線、あるいは複数の任意の直線もしくは曲線でもよい。また、これらの距離を求める空間は、複数の次元を持たせても良い。さらに、これらの複数の検査は、検出器 205、206 により、同時に検査されるものであっても良い。図 50 に示す照明系は、図 3 に示すレーザ光束 10、11、12 を斜方照明するのにならって、直線状の微細ミラー 240 を、対物レンズ 201 と被検査対象基板 1 との間に挿着し、直線状の微細ミラー 240 でレーザ光束 10 を反射させて被検査対象基板 1 に対してほぼ垂直にビーム光束 3 を照明するものである。従って、被検査対象基板 1 からの 0 次回折光（正反射光）は、直線状の微細ミラー 240 で遮光され、1 次以上の回折光が対物レンズ 201 を通過することになる。なお、直線状の微細ミラー 240 は、空間フィルタ 202 の面においては、空間フィルタ 202 の機能を果たすことができるように十分細い直線状の帯であることが好ましい。

【0103】次に、本発明に係る異物検査装置と外部装置との接続について説明する。即ち、CPU 471 は、本発明に係る異物検査装置の全体を制御するものである。従って、検査結果、あるいは検査のための条件（特にしきい値マップ）等は、CPU 417 に接続された記憶装置 427 内に格納される。そして、これら記憶装置 427 に格納された検査結果、あるいは検査条件を、ローカルエリアネットワーク 428 あるいはモデムを介して他の計算機と結ぶことが望まれる。特に、インターネットと結ぶことにより、異物検査装置における検査条件の改善、異物検査装置の問題の状況等を、異物検査装置を使用するユーザと異物検査装置のメーカーとの間でやり取りすることができる。これらのデータのやり取りでは、異物検査装置メーカーとユーザとの間で、暗号キーを持ち、データを暗号化することにより、機密を保持する

ことができる。また、異物検査装置によって検査された異物等の検査結果に基づく、プロセス処理装置におけるプロセス条件の改善、プロセス処理装置の問題の状況等を、プロセス処理装置を使用するユーザとプロセス処理装置のメーカーとの間でやり取りすることも可能となる。また、本発明に係る画像処理装置400をプログラム可能なシステムで構成することにより、図4、図28、図29、図30、図31に示しアルゴリズムを書き換えて実行することができる。これらのアルゴリズムは、ウエハ表面の酸化膜等の干渉による信号強度の部分的な変動に対応するためのもので、所謂色むら対応アルゴリズムを実現することができる。

【0104】次に、以上説明した本発明に係る欠陥検査装置を用いた半導体等の製造ラインおよびその製造方法について図32～図34を用いて説明する。図32に示すように、本発明に係る欠陥検査装置を用いた半導体等の製造ラインは、製造工程601乃至609、検査装置610乃至612、プローブ検査工程614、データ解析システム613により構成される。製造工程は、特に、歩留まりへの影響の大きい（歩留まりを左右する）工程601、605、608、609を含み、これらの工程は、上記本発明に係る欠陥検査装置等の検査装置612により常時監視される。また、この監視により、工程間の異常、例えば工程601、606間で異常が検出された際は、この間の工程602、603、604が、検査装置610により監視され、異常を作り込む工程、あるいは装置を同定する。また、特に重要な工程607は、検査装置611により占有的に監視される。

【0105】ところで、所望の工程だけの異物あるいは最表面に付着した異物等の欠陥を、高い識別精度で検査できるためには、この工程のプロセス処理を実施する前とプロセス処理を実施した後とにおいて、本発明に係る異物検査装置612による異物等の欠陥検査を実施し、プロセス処理後の欠陥検査結果とプロセス処理前の欠陥検査結果との論理差を求めると良い。ここで、この論理差に基いて判断する際、当工程以前に発生した異物を、当工程で発生した欠陥と誤って判断されることがあってはならない。むしろ、この欠陥は見逃した方がよい。それは、誤った判断に基づいて、欠陥が発生しないように対策が施されることとなるためである。

【0106】ところが、上記論理差によって、当プロセス処理工程で発生した異物等の欠陥のみを、必ずしも検出することができない。これは、以下のような理由による。その理由は、例えば、成膜等により異物等の欠陥の表面に膜が形成され、その結果異物等の欠陥サイズが大きくなり、検査感度が向上し、成膜前から存在していた欠陥が、成膜後には検査されることになるためである。即ち、実は、以前から付いていたはずの欠陥がその成膜工程前では検査されずに該成膜工程後に発見され、該成膜工程で発生したように間違えて判断されることにな

る。

【0107】そこで、当成膜工程前の検査時に、予め、例えば倍率 $m1$ を小さくしてしきい値を下げて検査感度を上げておくことによって以前から付いていた微細な欠陥を検出できるようになり、間違った判断をなくすることができる。このように、当成膜工程前の検査感度を上げると誤検出（虚報）が増えることになるが、図51に示すように、該工程前後の論理差（ $B-A$ ）を取ることによって問題とはならない。しかし、被検査対象基板1のチップ内の領域毎に、プロセス処理の前後で表面の状態が変わり得る。このため、プロセス処理前に、全体的にしきい値を下げたとしても、背景レベルが高く、結果的にしきい値が大きく事実上非検査状態もしくは低感度状態になってしまう領域が存在し、この領域からは以前から付いていた微細な欠陥が検出することができなくなる。

【0108】そこで、本発明に係る欠陥検査装置612の演算処理回路400のCPU417において、 $Ib < Tb$ の場合において、 $Ia > Tha$ として検出され、且つ $Ia > \kappa \cdot Thb$ のときのみ、当該プロセス処理工程Pで発生した欠陥と判断する。すなわち、当該プロセス処理工程P前の検査で、可能な限り検査感度を上げて検査しても欠陥が検出することができなかった場合において、当該プロセス処理工程後の検査で検査感度を落してしきい値を上げて欠陥が検出された場合のみ、当該プロセス処理工程Pで発生した欠陥と判断し、当該プロセス処理工程後の検査で検査感度を落してしきい値を $\kappa$ 倍上げて欠陥が検出されない場合には、この欠陥を見逃す処理をして誤った判断をなくすることができる。それは、当該プロセス処理工程で生じた欠陥と判断される確率が低下するからである。当然、 $Ib \geq Thb$ の場合には以前に発生した欠陥とみなすことができる。但し、 $Ia$ は、当該プロセス処理工程後の検査において検出された欠陥の検出信号レベル、 $Ib$ は、当該プロセス処理工程前の検査において検出された欠陥の検出信号レベルを示す。 $Tha$ は、当該プロセス処理工程後のしきい値マップ格納手段419から得られる検査しきい値レベル、 $Thb$ は、当該プロセス処理工程前の可能な限り下げたしきい値マップ格納手段419から得られる検査しきい値レベルを示す。 $\kappa$ は、1を越えた係数で、 $Thb$ に応じて決定される。なお、欠陥検査装置の演算処理回路400の比較回路414等では、 $Ia$ と $Tha$ 、 $Ib$ と $Thb$ とについて比較されることになる。

【0109】従って、CPU417が行なう上記欠陥判定処理には、しきい値マップ格納手段419からえられて記憶装置427に記憶されたプロセス処理工程前（場合によってはプロセス処理工程後も）のチップ全域あるいはこれに準じる領域のしきい値レベル（しきい値画像）、およびメモリ404から得られて記憶装置427に記憶されたプロセス工程前後の欠陥検出信号が必要と

なる。重要なのは、プロセス処理工程前の検査のときのしきい値マップの情報を記憶装置 427 に記憶しておく、このしきい値マップの情報をを用いてプロセス処理工程後の検査のときのしきい値 ( $\kappa \cdot Tha$ ) を決める係数  $\kappa$  を決定することにある。当然、 $Tha$  は、プロセス処理工程後の検査のときに、閾値算出手段 418 において算出されることになる。更に、欠陥検査装置 612 が工程 602、603、604 等に対して監視する監視手法について説明する。第 1 の手法は、ロット内のウエハに着目し、工程を経るごとの着目ウエハの異物等の欠陥の付着の状態 (変化) を監視する同一ウエハによる工程監視手法である。第 2 の手法は、あるプロセス装置あるいは工程に着目し、その工程を通過するウエハの前後の状態を監視することにより、そのプロセス装置あるいは工程の状態を監視する手法である。いずれも、工程の状態を監視するという点では、共通するが、第 1 の手法は工程間を比較し、状態の悪い工程を探すのが目的であり、第 2 の手法はある工程の経時的な変化を比較することが主な目的である。つまり、第 2 の手法は、突発的な異物発生等の異変をモニタしたり、あるいは何らかの異物等の欠陥低減対策を実施後の効果を評価することなどを目的とする。

【0110】ここで、検査装置 612 による特に、特定のプロセス工程あるいはその装置に着目する管理は、当工程でどのように欠陥が増減しているかを知ることができる。さらに、この管理において、特に、ここで検出した異物のサイズを用い、その異物の当工程での致命性を判定することにより、当異物の対策の重要性を知ることができ、対策を実施するときの動機付けとなり、大変有効となる。つまり、異物等の欠陥の対策効果の大きさを知ることにより、対策への意識がより強く意識され、対策行動に結び付けることができる。以上説明したように、監視され、取り込まれたデータは、データ解析システム 613 に取り込まれ、異常の発生、プローブ検査工程 614 からのデータとの関連から歩留まりとの関連、等が解析される。更に、上記検査装置 610、611、612 には、上記本発明に係る欠陥検査装置の他、光監視視野検査、SEM 検査等の検査装置が使用されている。これらの検査装置はそれぞれの特長があり、検出できる異物が異なっている。そこで、これらの検査装置を併用することにより検査の信頼性をトータルで向上できる。また、これらの検査装置は、その検出原理から、検査時間 (検査のスループット) にも差異がある。高スループットの上記欠陥検査方式のレーザ散乱方式は、微粒子の検査には適しているが、レーザの干渉性により検出時の捕捉率が低い。光監視視野検査は、捕捉率は高いが、比較検査時のためサンプリング時に高い解像度を必要とするため、スループットが低い。電子線を利用した検査は、SN が低いため検査の高速化は難しいが、高解像の検査が可能な上導通不良等の検査に向く。

【0111】LSI 製造工程では、感度、スループット、検出できる対象等を考慮しながらこれらの検査装置をシステム化する必要がある。図 33 に示すように、それぞれの検査装置が、24 から 27 へ、25 から 28 へ、26 から 29 へと検出可能な異物等の欠陥を増やし、システムのトータルの検出数を増やすことにより、全体で高い性能を有するシステムを構築することができる。図 34 に量産立ち上げ時の歩留まりの推移 30 を示す。また、欠陥数の推移 31 も同時に示す。歩留まりが向上するにつれて欠陥数が低下する。しかしながら、歩留まりが立ち上がった状況でも突発的に欠陥数が上昇し歩留まりを低下させることがある。そこで、これらの欠陥発生をいち早く知り、欠陥発生工程の生産を一時的に止め欠陥発生原因を対策する必要がある。そのため、本発明に係る異物等の欠陥検査装置が必要になる。

【0112】

【発明の効果】本発明によれば、照明の効率を向上でき、空間フィルタ、照明方向により LSI パターン等の基板内のパターンからの回折光を低減でき、さらに、チップ内のばらつきの異なる位置毎にしきい値を低く設定できるので、LSI ウエハ上等の基板上の異物や欠陥を高感度、高スループットで検出することができる効果を奏する。また、本発明によれば、高感度の通常の TDI センサを用いて、繰り返しパターンと非繰り返しパターンとが混在する被検査対象基板上に存在する微小異物や欠陥を高感度で、且つ高速に検出することができる効果を奏する。また、本発明によれば、通常の安価な光源、例えばレーザ光源から出射されるガウスビーム光束の光量を有効利用し、0.1  $\mu\text{m}$  程度以下の極微小な異物等の欠陥をも、高感度で、且つ高速で検査することができる効果を奏する。また、本発明によれば、例えばレーザ光源から出射されるガウスビーム光束の光量を有効利用し、しかも検出光学系において光軸から離れるに従って MTF が低下するに従って被検査対象基板上の検出領域の周辺部における照度不足を解消し、0.1  $\mu\text{m}$  程度以下の極微小な異物等の欠陥をも、高感度で、且つ高速で検査することができる効果を奏する。

【0113】また、本発明によれば、被検査対象基板上に配列された構造物内の各種回路パターン領域に合わせ判定基準であるしきい値レベルを最適な感度に設定して虚報を著しく増加させることなく、真の異物等の欠陥を検査することができる効果を奏する。また、本発明によれば、被検査対象基板上に配列された構造物内の各種回路パターン領域において検出したい異物等の欠陥サイズに合わせて判定基準であるしきい値レベルを設定して検出したいサイズの異物等の欠陥を検査することができる効果を奏する。また、本発明によれば、被検査対象基板上に配列された構造物内の各種回路パターン領域において存在する異物等の欠陥のサイズを推定できるようにして異物等の欠陥を検査することができる効果を奏す



る。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明に係る被検査対象基板の一実施例であるメモリ LSI が配列される半導体ウエハを示す図である。

【図 2】本発明に係る被検査対象基板の他の実施例であるマイコン等の LSI が配列される半導体ウエハを示す図である。

【図 3】本発明に係る欠陥検査装置の第 1 の実施の形態を示す概略構成図である。

【図 4】図 3 に示す画像処理部の第 2 の実施例を示すブロック構成図である。

【図 5】本発明に係る半導体ウエハ等の被検査対象基板上にスリット状のビームを照明する方法および検出方法を説明するための図である。

【図 6】本発明に係る円錐曲面を持つ照明レンズによる照明光束を示す斜視図である。

【図 7】本発明に係る円錐曲面を持つ照明レンズの製造方法の第 1 の実施例を説明するための図である。

【図 8】本発明に係る円錐曲面を持つ照明レンズの製造方法の第 2 の実施例を説明するための図である。

【図 9】本発明に係る照明光学系を示す y 方向および x 方向からみた側面図である。

【図 10】本発明に係る照明光学系において一つのレーザ光源を用いて 3 方向からスリット状のビームを半導体ウエハ等の被検査対象基板上に照明するための光学系を示す平面図である。

【図 11】本発明に係る照明方向及び検出方向と、照明方向によるパターンからの回折光とを示す斜視図である。

【図 12】本発明に係る回路パターンの主要な直線群に対して 45 度方向からスリット状のビームを照明したときの 0 次回折光パターンの発生状況と光軸を垂直にしたときの検出光学系の対物レンズの開口との関係を示す図である。

【図 13】本発明に係る回路パターンの主要な直線群に対して平行な方向からスリット状のビームを照明したときの 0 次回折光パターンの発生状況と光軸を垂直にしたときの検出光学系の対物レンズの開口との関係を示す図である。

【図 14】本発明に係る回路パターンの主要な直線群に対して異なる 45 度方向からスリット状のビームを照明する際交わらないよう照明し、TDI センサで検出する検出領域との関係を示す図である。

【図 15】本発明に係る欠陥検査装置の第 2 の実施の形態を示す概略構成図である。

【図 16】異物からの射出角度と検出信号強度との関係を示すグラフ図である。

【図 17】検出光学系の光軸を傾けた場合にこの傾きに合わせて TDI センサの受光面を傾けた場合の実施例を

示す図である。

【図 18】本発明に係る回路パターンの主要な直線群に対して異なる 45 度方向からスリット状のビームを照明したとき、繰り返しパターンから生じる回折光縞を示す平面への投影図である。

【図 19】本発明に係る検出光学系のフーリエ変換面での繰り返しパターンからの回折光縞と、該回折光縞と空間フィルタとの位置関係を示す平面図である。

【図 20】本発明に係る回路パターンの主要な直線群に対して 45 度方向からスリット状のビームを照明したときの 0 次回折光パターンの発生状況と光軸を垂直にしたときおよび y 方向に傾けたときの検出光学系の対物レンズの開口との関係を示す図である。

【図 21】本発明に係る回路パターンの主要な直線群に対して平行な方向からスリット状のビームを照明したときの 0 次回折光パターンの発生状況と該 0 次回折光パターンが入り込まない検出光学系の対物レンズの開口の位置を示す図である。

【図 22】本発明に係る回路パターンの主要な直線群に対して 45 度方向から長手方向が照明方向を向けてスリット状のビームを照明する実施例を示す図である。

【図 23】図 22 に示すスリット状のビームを照明したとき、必要とする特殊な TDI センサを示す図である。

【図 24】本発明に係る酸化膜等の絶縁膜上に存在する異物からの散乱光の干渉モデルを示す側面図である。

【図 25】酸化膜等の絶縁膜上に存在する異物を検出するために複数の検出方向から異物からの散乱光を検出する実施例を説明するための図である。

【図 26】ある波長の照明光を照射した場合の酸化膜等の絶縁膜の膜厚変化と検出信号との関係、および、3 つの異なる波長の照明光を照射した場合の酸化膜等の絶縁膜の膜厚変化と検出信号との関係を示す図である。

【図 27】本発明に係る画像処理部において異物等の欠陥を抽出するための判定基準（閾値）を算出して設定することを説明するウエハと画素の関係を示す図、およびチップ（様々なパターン領域を有する。）と画素の関係を示す図である。

【図 28】本発明に係る画像処理部の第 1 の実施例を示すブロック図である。

【図 29】本発明に係る画像処理部の第 3 の実施例を示すブロック図である。

【図 30】本発明に係る画像処理部の第 4 の実施例を示すブロック図である。

【図 31】本発明に係る画像処理部の第 5 の実施例を示すブロック図である。

【図 32】本発明に係る異物等の欠陥検査装置が設置された半導体の製造ラインの概略構成を示す図である。

【図 33】半導体の製造ラインにおいて各々の欠陥検査装置が検出可能な異物を増やすことによって、トータルとして高い性能を有するシステムを構築できるというこ

とを説明するための図である。

【図 3 4】量産立ち上げ時における歩留まりと欠陥数の推移を示す図である。

【図 3 5】本発明に係る欠陥検査装置の第 4 の実施の形態の概略構成を示す図である。

【図 3 6】図 3 5 に示す欠陥検査装置の第 4 の実施の形態に用いられている照明光学系の一実施例の構成を y 方向および x 方向から具体的に示す図である。

【図 3 7】照明光学系によってスリット状のガウスビーム光束を整形して照明効率向上を図る基本思想を説明するための図である。

【図 3 8】検出器として TDI イメージセンサを用いた場合における被検査対象基板上の検出領域の光像を受光して撮像する方法を説明するための図である。

【図 3 9】ガウスビーム光束において標準偏差  $\sigma$  (照明の幅に対応する) を変えたとき、検出領域の周辺部 ( $x_0 = 1$ ) における照度  $f(x_0)$  の変化を示す図である。

【図 4 0】標準偏差  $\sigma$  を 0.5、1、2 にしたときのガウスビーム光束を照射した際、検出領域の光軸からの長さ ( $x_0$ ) に対する照度  $f(x_0)$  の変化を示す図である。

【図 4 1】DUV 光を受光できるようにした TDI イメージセンサの実施例を説明するための図である。

【図 4 2】本発明に係る欠陥検査装置における条件出しのシーケンスの実施例を示す図である。

【図 4 3】表示手段に表示された条件だしモード選択としきい値事前選択とを行なう画面を示す図である。

【図 4 4】検出感度・検出面積を表示手段に表示した画面を示す図である。

【図 4 5】エリア優先、標準、感度優先の場合のしきい値マップと、感度に対する検査面積の関係とを表示手段に表示した画面を示す図である。

【図 4 6】本発明に係る欠陥検査装置において、検出光学系に、空間フィルタの遮光パターンを観察する光学系を備え、光学観察顕微鏡をした実施の形態を示す図である。

【図 4 7】本発明に係る鏡面ウエハ上における標準粒子径と評価値 (散乱光の検出信号レベル) との実験データに基づく関係を示す図である。

【図 4 8】検出された画像信号から異物のサイズを推定する実施例を説明するための図である。

【図 4 9】レーザ照明系による検出信号レベルと別の照明系による検出信号レベルとから欠陥の種類を分類することができる実施例を説明するための図である。

【図 5 0】本発明に係る欠陥検査装置において、直線状の微細ミラーを用いてビーム光束を明視野照明する場合

の照明光学系と検出光学系とを示す概略構成図である。

【図 5 1】あるプロセス処理装置 P で処理する前ににおいて高感度で欠陥検査を実施し、該処理後において最適感度で欠陥検査を実施し、その論理差 ( $B-A$ ) を示す図である。

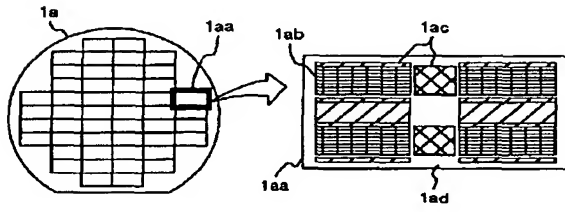
【図 5 2】本発明に係る欠陥検査装置において、微小異物から広がりを持った大きな異物まで高  $S/N$  比でもって欠陥判定できる構成を示す図である。

【符号の説明】

- 1…被検査対象基板 (ウエハ)、1a、1b…半導体ウエハ、1aa…メモリ LSI、1ab…メモリセル領域、1ac…周辺回路領域、1ad…その他の領域、1ba…マイコン等の LSI、1bb…レジスタ群領域、1bc…メモリ部領域、1bd…CPU コア部領域、1be…入出部領域、2…チップ、3…スリット状ビーム (照明領域)、4…TDI センサ等のイメージセンサの検出領域、100…照明光学系、101…レーザ光源、102…凹レンズ、103…凸レンズ、104…円錐曲面を持つ照明レンズ、200…検出光学系、201…対物レンズ (検出レンズ)、202…空間フィルタ、203…結像レンズ、204…ビームスプリッター、205、206…TDI センサ等の 1 次元検出器、207…ND フィルタ、208…偏光素子、226…ミラー、227…結像光学系、228…TV カメラ、240…直線状の微細ミラー、300…白色照明系、400…演算処理回路 (信号処理系)、401…A/D 変換部、402…データメモリ、403…差分処理手段 (差分処理回路)、403'…絶対値差分処理回路、404…データメモリ、405…最大最小除去回路、406…2 乗算回路、407…算出回路、408…個数カウント回路、409…2 乗和算出回路、410…和算出回路、411…計数回路、412…上限判定基準 (正側閾値) 算出回路、413…下限判定基準 (負側閾値) 算出回路、414、415、414'…比較回路、417…CPU (出力手段)、419…閾値マップ格納手段、421…出力手段 (表示手段)、422…メモリ位置コントローラ、423…閾値算出回路、424…閾値設定回路、425…平均値算出回路、426…入力手段、427…記憶装置、428…ネットワーク、520、521~525…オペレータ、531~535…比較回路、541~544…掛け算回路、550…論理和回路、600…光学観察顕微鏡、601…検出光学系、602…画像処理系、603…表示手段、604…画像メモリ、610~612…検査装置、613…データ解析システム、1007…ビーム光束。

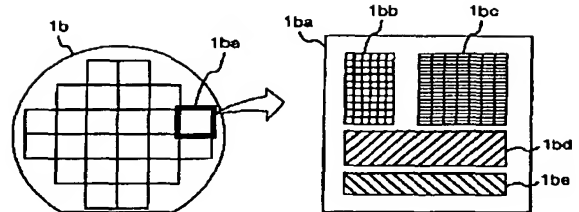
【図 1】

図 1



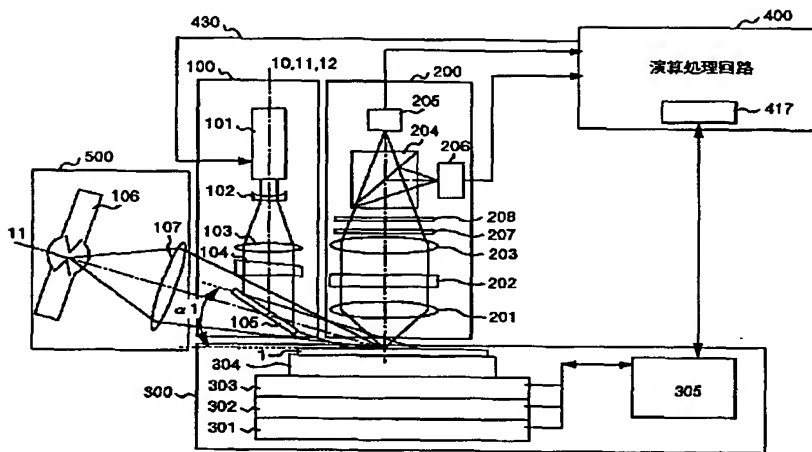
【図 2】

図 2



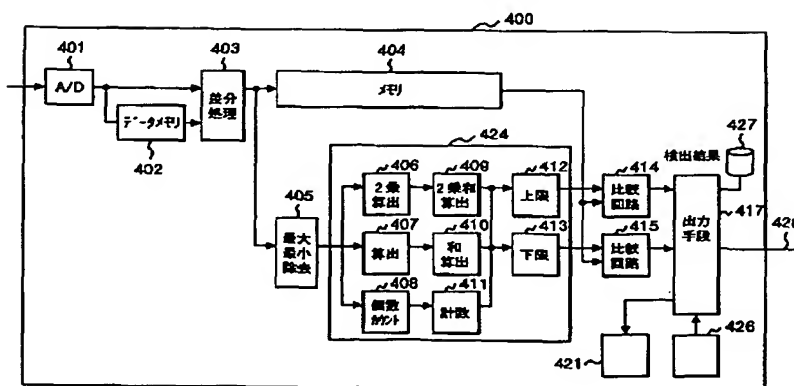
【図 3】

図 3



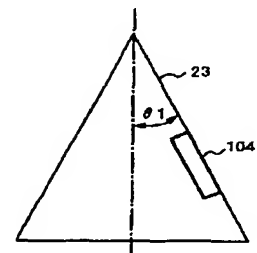
【図 4】

図 4



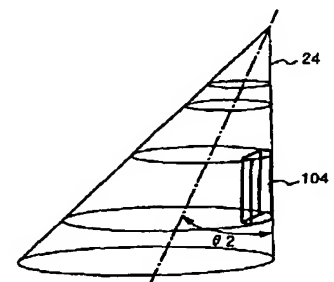
【図 7】

図 7



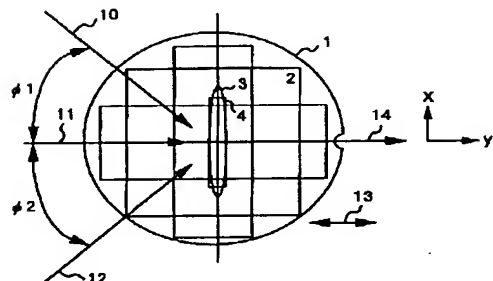
【図 8】

図 8



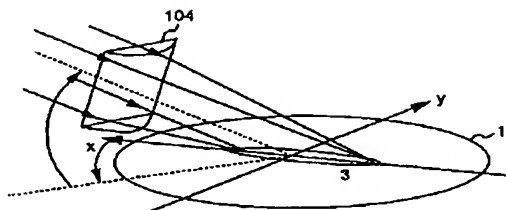
【図 5】

図 5



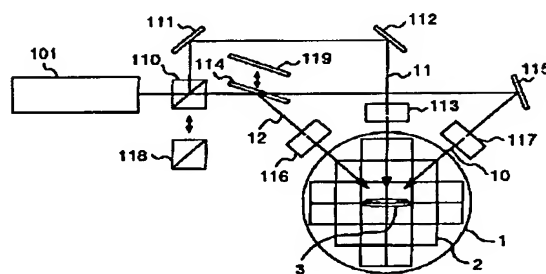
【図 6】

図 6



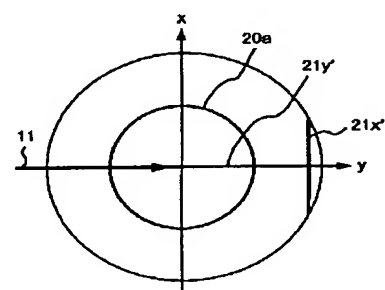
【図 10】

図 10



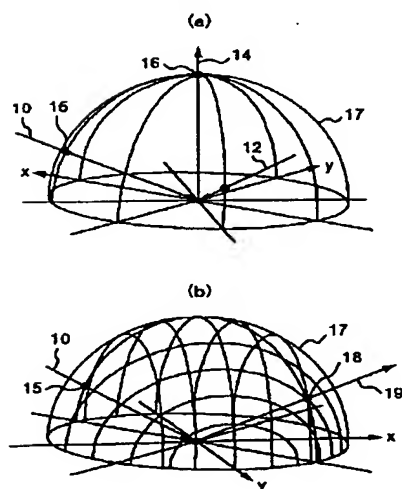
【図 13】

図 13



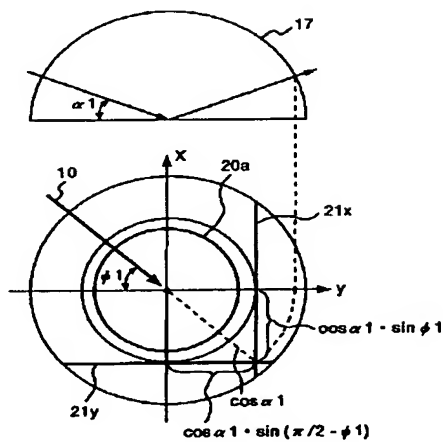
【図 11】

図 11

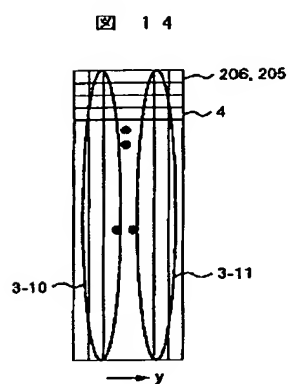


【図 12】

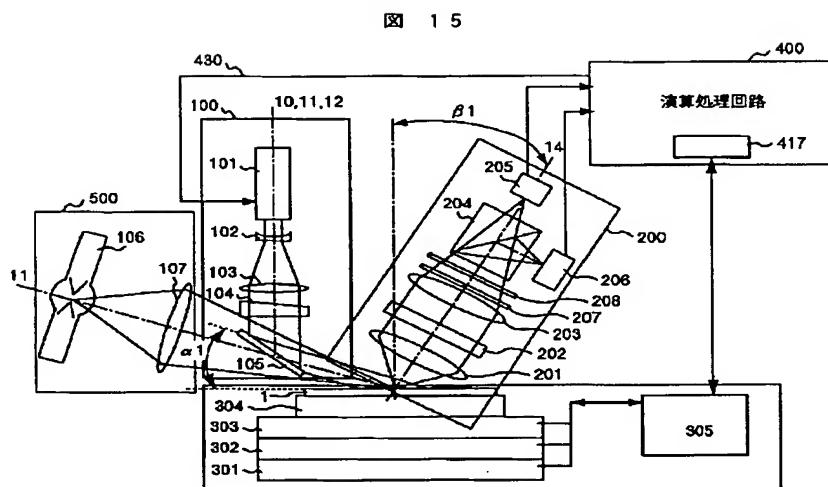
図 12



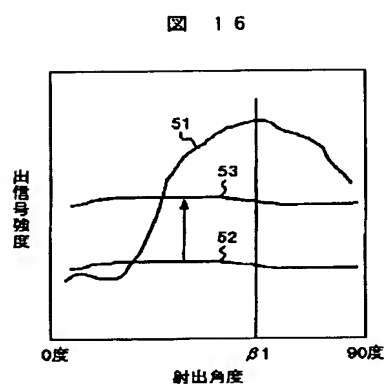
【図14】



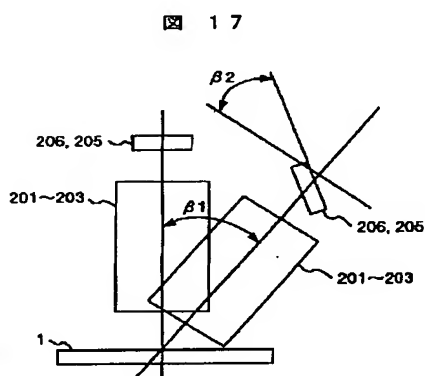
【図15】



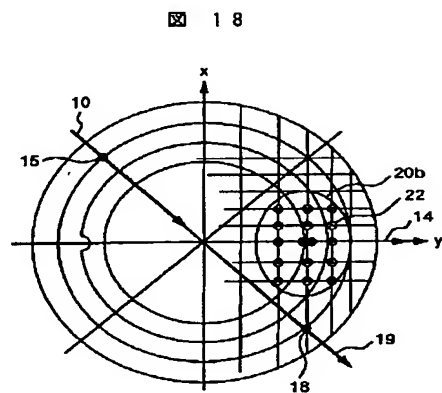
【図16】



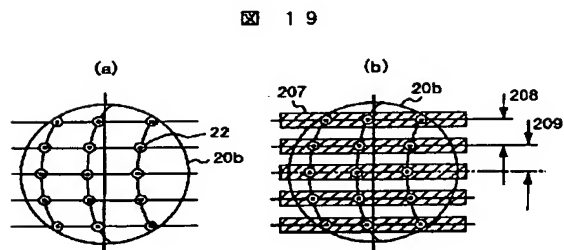
【図17】



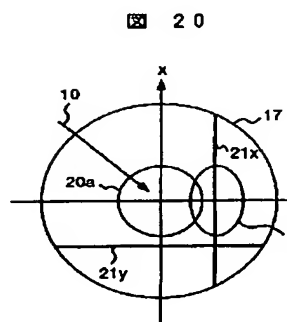
【図18】



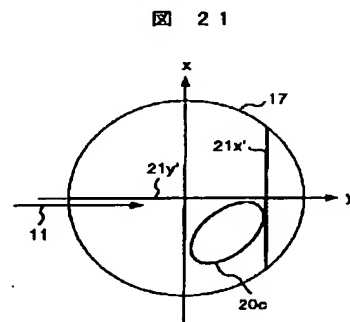
【図19】



【図20】



【図21】



【図22】

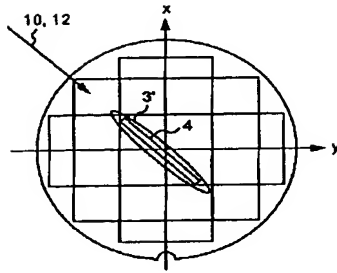


図 22

【図23】

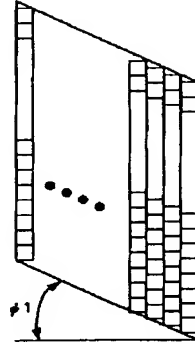


図 23

【図24】

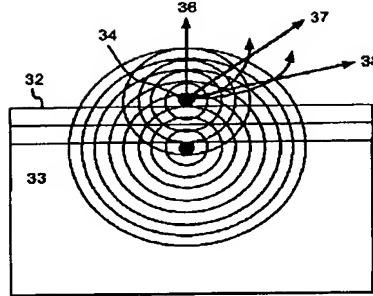


図 24

【図33】

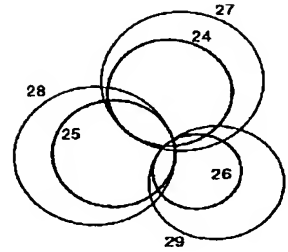


図 33

【図25】

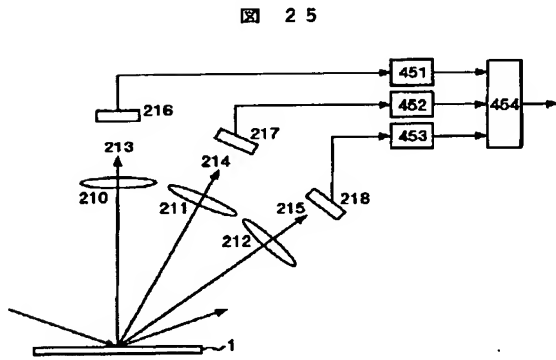


図 25

【図26】

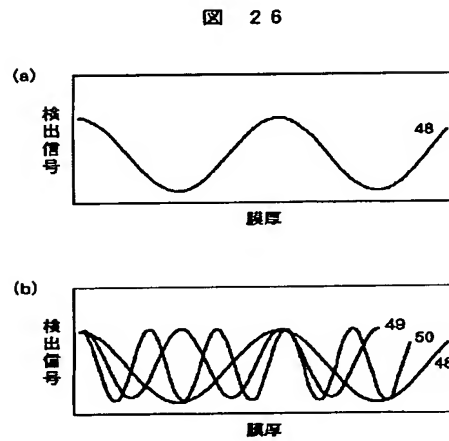


図 26

【図28】

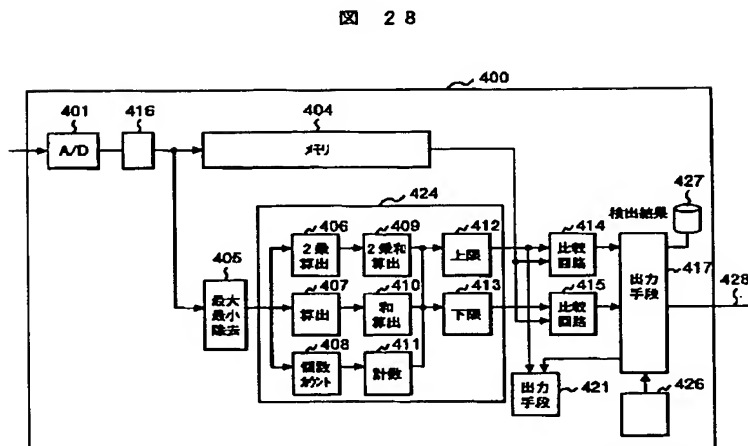


図 28

【図34】

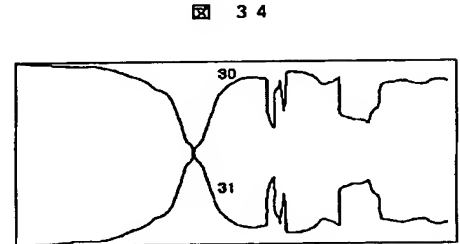
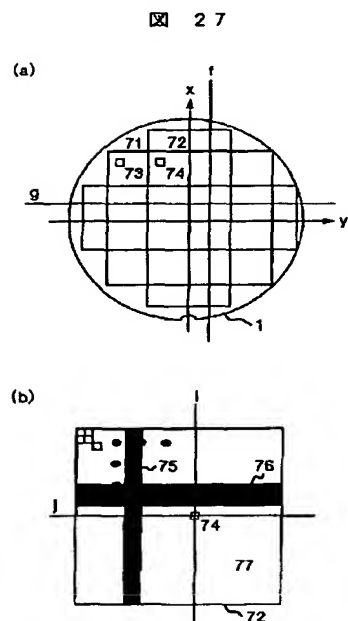
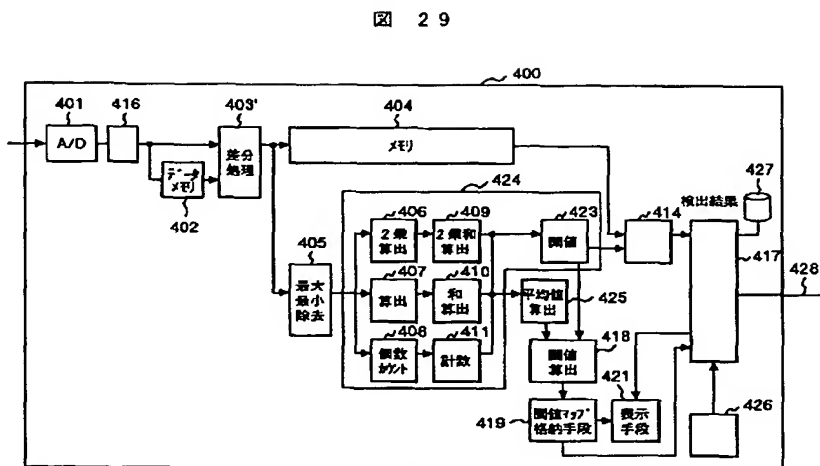


図 34

【図 27】



【図 29】

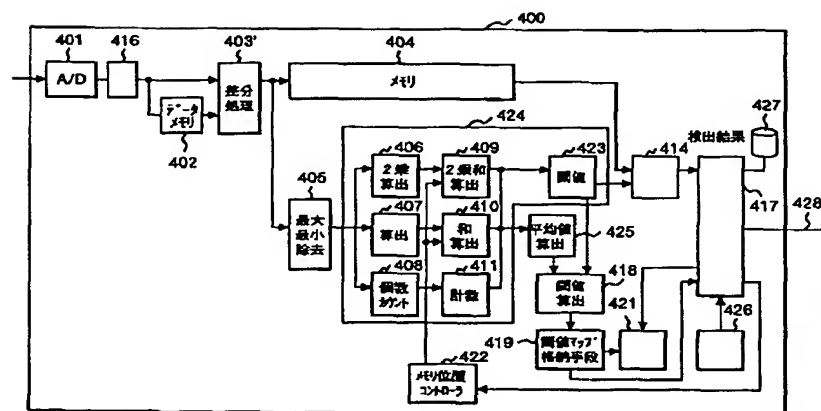


【図 43】

図 43

【図 30】

図 30



- 条件なしモード選択
- a. エリア優先
  - b. 標準
  - c. 感度優先
  - d. 感度表示後選択
- しきい値事前選択
- a. m1=6 虚報発生確立○○%
  - b. m1=10 虚報発生確立○○%
  - c. m1=16 虚報発生確立○○%

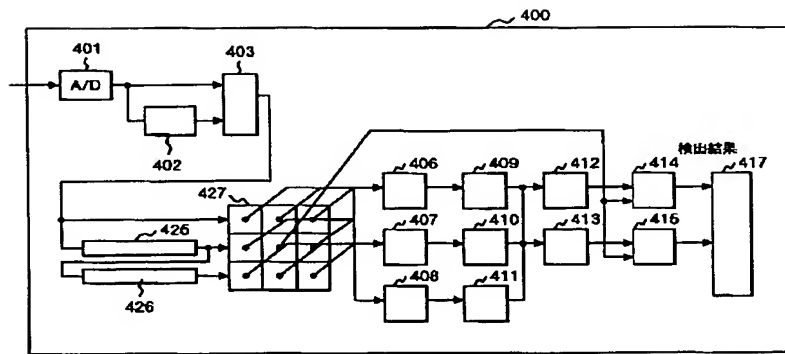
【図 44】

図 44



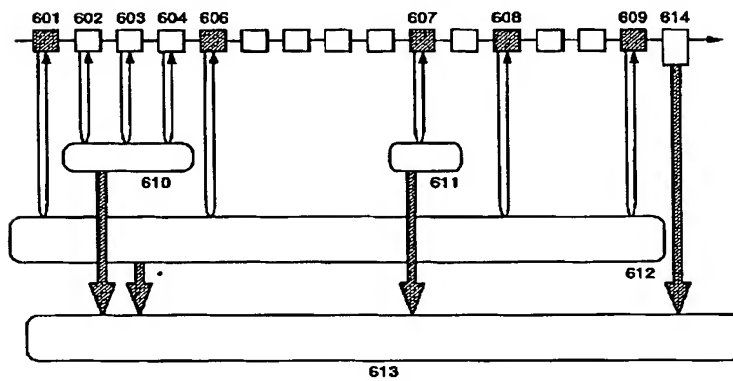
【図 31】

図 31



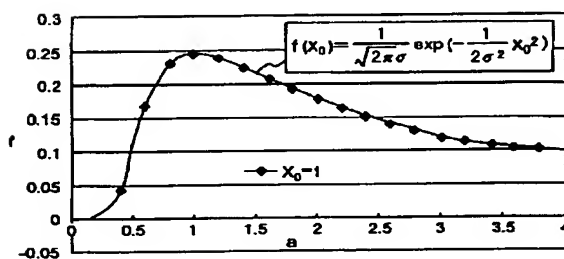
【図 32】

図 32



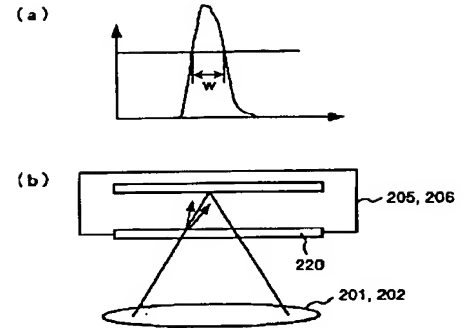
【図 39】

図 39



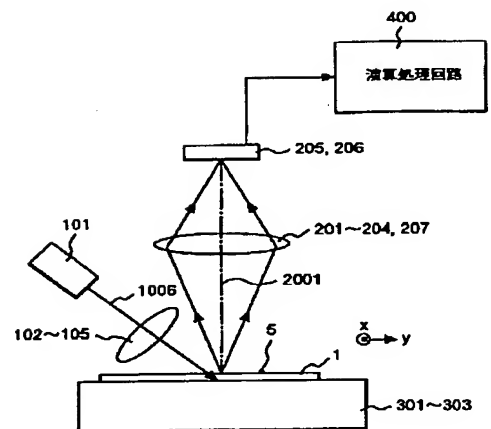
【図 48】

図 48



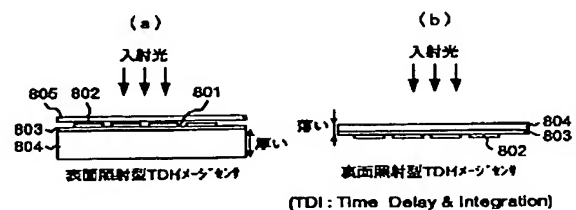
【図 35】

図 35



【図 41】

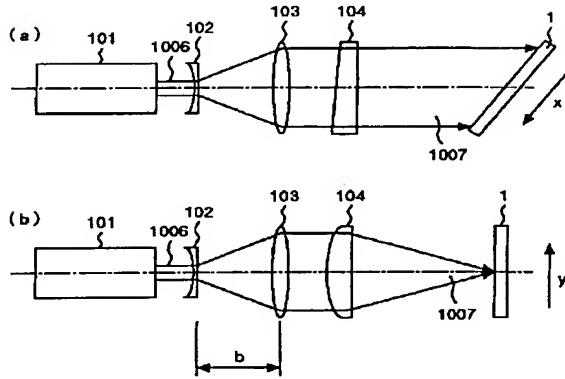
図 41





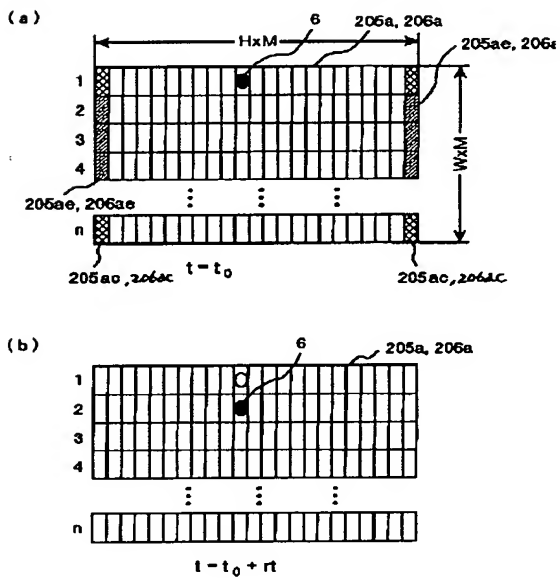
【図 36】

図 36



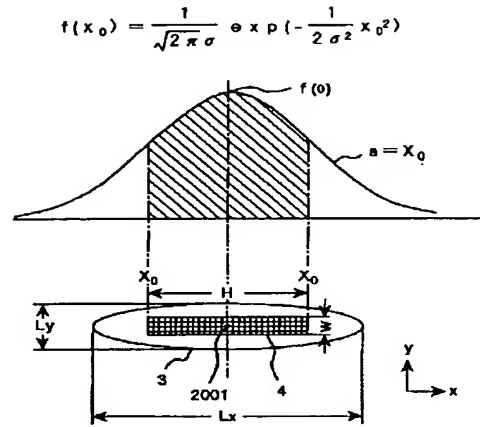
【図 38】

図 38



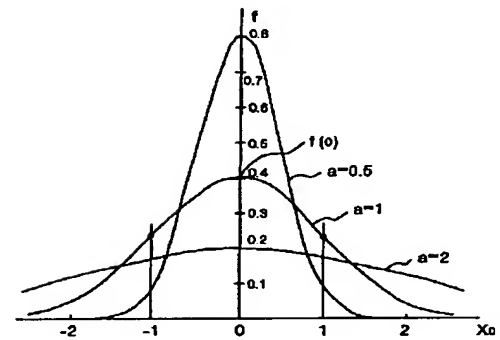
【図 37】

図 37



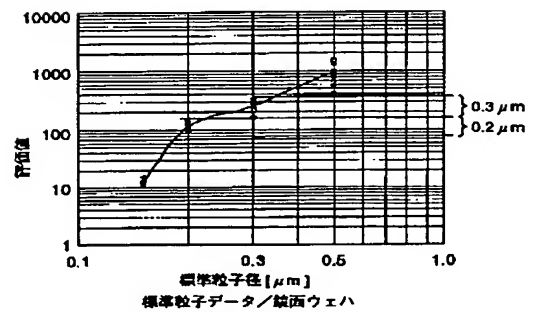
【図 40】

図 40



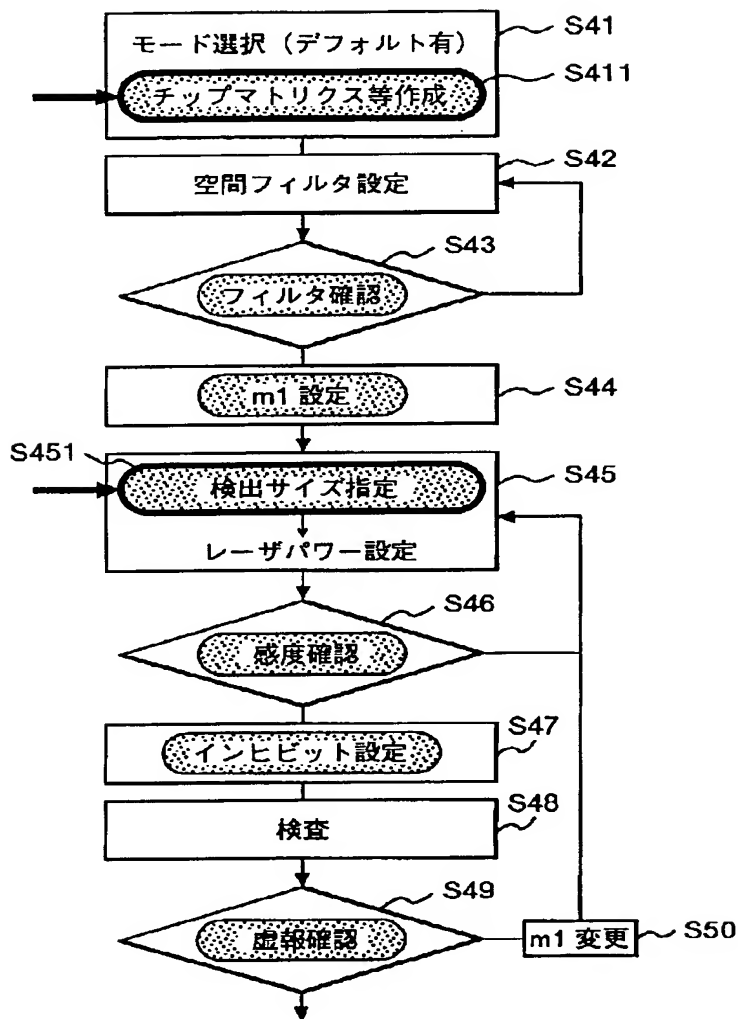
【図 47】

図 47



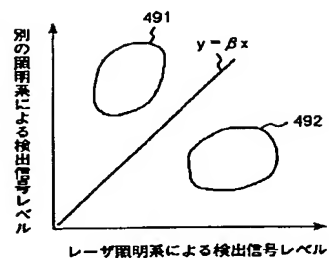
【図 4 2】

図 4 2



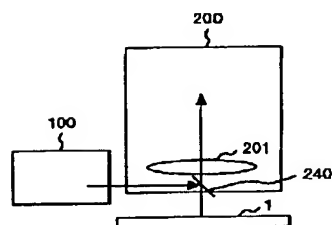
【図 4 9】

図 4 9



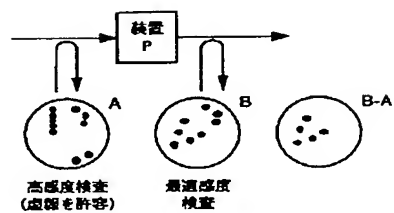
【図 5 0】

図 5 0



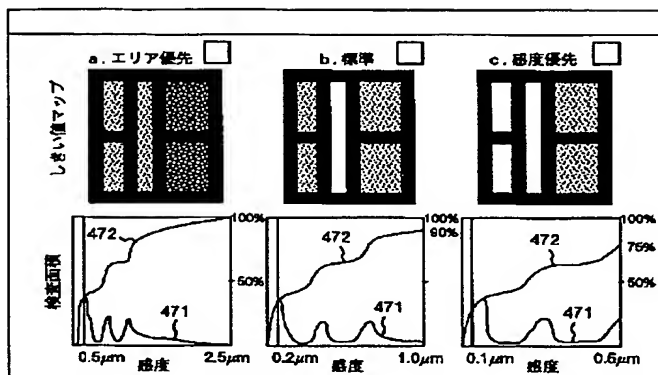
【図 5 1】

図 5 1



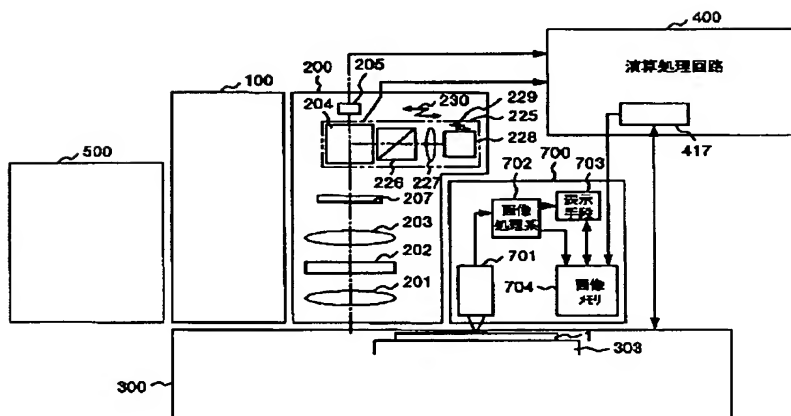
【図 45】

図 45



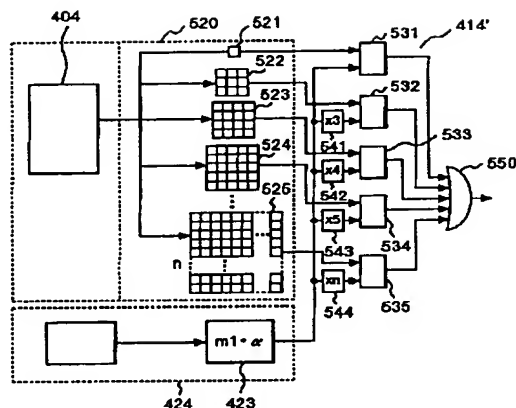
【図 46】

図 46



【図 5 2】

図 5 2



フロントページの続き

- |   |  |
|---|--|
| (72) 発明者 大島 良正<br>神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株 25<br>式会社日立製作所生産技術研究所内 | (72) 発明者 二宮 隆典<br>神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株<br>式会社日立製作所生産技術研究所内 |
| (72) 発明者 西山 英利<br>神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株<br>式会社日立製作所生産技術研究所内    | (72) 発明者 渡邊 哲也<br>東京都渋谷区東三丁目16番3号 日立電子<br>エンジニアリング株式会社内    |
| (72) 発明者 松本 俊一<br>神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株 30<br>式会社日立製作所生産技術研究所内 | (72) 発明者 中村 寿人<br>東京都渋谷区東三丁目16番3号 日立電子<br>エンジニアリング株式会社内    |
| (72) 発明者 見坊 行雄<br>神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株<br>式会社日立製作所生産技術研究所内 35 | (72) 発明者 神宮 孝広<br>東京都渋谷区東三丁目16番3号 日立電子<br>エンジニアリング株式会社内    |
| (72) 発明者 松永 良治<br>東京都渋谷区東三丁目16番3号 日立電子<br>エンジニアリング株式会社内       | (72) 発明者 森重 良夫<br>東京都渋谷区東三丁目16番3号 日立電子<br>エンジニアリング株式会社内    |
| (72) 発明者 酒井 恵寿<br>東京都渋谷区東三丁目16番3号 日立電子 40<br>エンジニアリング株式会社内    | (72) 発明者 近松 秀一<br>東京都渋谷区東三丁目16番3号 日立電子<br>エンジニアリング株式会社内    |